



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍCH STAVEB

INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

NÁVRH HRÁZE ÚDOLNÍ MALÉ VODNÍ NÁDRŽE

PROPOSAL OF SMALL EARTH DAM

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jan Stoklas

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MIROSLAV ŠPANO, Ph.D.

BRNO 2019



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R015 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště	Ústav vodních staveb

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Jan Stoklas
Název	Návrh hráze údolní malé vodní nádrže
Vedoucí práce	Ing. Miroslav Špano, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2018
Datum odevzdání	24. 5. 2019

V Brně dne 30. 11. 2018

prof. Ing. Jan Šulc, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Doležal, P. 2011 Malé vodní a suché nádrže :TP 1.19 : technická pomůcka k činnosti autorizovaných osob

USBR 1987, Design of small dams, Third edition

ČSN 75 2410 Malé vodní nádrže

ČSN 75 2310 Sypané hráze

ČSN 75 2340 Navrhování přehrad - hlavní parametry a vybavení

Vyhl. č. 590/2002 Sb. o technických požadavcích pro vodní díla

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Student vypracuje studii stavby hráze malé vodní nádrže v konkrétní lokalitě Brno Soběšice, hlavními účely nádrže jsou tvorba vodní plochy a zásoba vody pro hašení požárů. Hráz bude svým vybavením a parametry odpovídat požadavkům závazných předpisů a norem. Práce bude obsahovat textovou část a grafické přílohy. Rozsah dokumentace bude odpovídat studii.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

Ing. Miroslav Špano, Ph.D.

Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Předmětem této bakalářské práce je vpracování studie malé vodní nádrže v konkrétní lokalitě. Skládá se z textové části a výkresové části. Textová část obsahuje stručný souhrn problematiky malých vodních nádrží, popis lokality, stanovení návrhového průtoku, potřebné hydrotechnické výpočty a návrh předpokládaného technického řešení. Výkresy znázorňují navrženou podobu hráze, sdruženého objektu a upravené zátopy.

KLÍČOVÁ SLOVA

Malá vodní nádrž, sdružený funkční objekt, návrhový průtok, bezpečnostní přeliv, hydrotechnické výpočty, vývar, vodohospodářská bilance, odpadní štola

ABSTRACT

The subject of this bachelor thesis is the study of a small water reservoir in a particular locality. It consists of a text part and a drawing part. The text part contains brief summary of the issues of small water reservoirs, description of the locality, determination of design flow, needed hydrotechnical calculations and design of expected technical solution. The drawings show the design of the dam, the combined functional object and the modified flooded area.

KEYWORDS

Small water reservoir, combined functional object, design flow, emergency spillway, hydrotechnical calculations, stilling basin, water balance, waste tunnel

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Jan Stoklas *Návrh hráze údolní malé vodní nádrže*. Brno, 2019. 58 s., 8 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb. Vedoucí práce Ing. Miroslav Špano, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Návrh hráze údolní malé vodní nádrže* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 19. 5. 2019

Jan Stoklas
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Návrh hráze údolní malé vodní nádrže* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 19. 5. 2019

Jan Stoklas
autor práce

Obsah

1	Úvod	9
2	Cíl práce	10
3	Literární přehled	11
3.1	Definice malé vodní nádrže	11
3.2	Historie	11
3.3	Účel a rozdělení malých vodních nádrží	12
3.4	Současné problémy malých vodních nádrží	13
4	Popis lokality	14
4.1	Identifikační údaje	14
4.2	Hydrografické údaje	14
4.3	Klimatické poměry	15
4.4	Geomorgologie	16
4.5	Geologické poměry	16
4.6	Pedologické poměry	18
4.7	Větrné poměry	19
4.8	Vlastní terénní průzkum	19
5	Stanovení návrhového průtoku	21
5.1	Požadovaná míra bezpečnosti vodního díla	21
5.2	Vstupní hodnoty	22
5.2.1	Povodí	22
5.2.2	Návrhový déšť	23
5.2.3	Průměrná hodnota CN křivky	23
5.2.4	Doba koncentrace	24
5.3	Výpočet	25
6	Předpokládané technické řešení	26
6.1	Základní technické parametry stavby	26
6.2	Hráz	26
6.3	Sdružený funkční objekt	27
6.4	Zátopa	28
7	Hydrotechnické výpočty	29
7.1	Charakteristické křivky nádrže	29
7.2	Stanovení převýšení hráze	30

7.2.1	Výpočet výběhu větrových vln	31
7.3	Vodohospodářská bilance nádrže	35
7.3.1	Ztráty vody průsakem hrází	35
7.3.2	Ztráty vody výparem	37
7.3.3	Ztráty vody transpirací rostlin	37
7.3.4	Přítok do nádrže	38
7.3.5	Odtok z nádrže	39
7.3.6	Bilance	39
7.4	Sdružený funkční objekt	39
7.4.1	Požerák	40
7.4.2	Návrh délky bezpečnostního přelivu	41
7.4.3	Spadiště a odpadní štola	43
7.4.4	Vývar	46
7.5	Výpočet kubatur	48
7.5.1	Výpočet kubatury hráze	49
7.5.2	Výpočet kubatury odtěžené zeminy ze zátopy	50
7.5.3	Výpočet kubatury skrývky	51
7.5.4	Výpočet kubatury betonu	51
8	Závěr	52
	Literatura	54
	Seznam obrázků	56
	Seznam tabulek	57
	Seznam příloh	58

1 Úvod

Vodní nádrže jsou buďto přirozené nebo uměle vytvořené člověkem. Přírodní nádrže se nazývají jezera a vznikaly v minulosti přirozenou akumulací vody díky přírodním jevům. Těchto nádrží není na území České Republiky mnoho, naproti tomu se na našem území vyskytuje nespočet nádrží, které vznikly lidskou činností.

Tyto nádrže, většinou určené pro chov ryb, které byly budovány již ve středověku, změnilы tvář krajiny a staly se její součástí. Staly se životním prostředím mnoha druhů živočichů a rostlin a těžko si bez nich dokážeme českou krajinu představit.

V současné době je často řešeným tématem změna klimatu. Zvyšují se průměrné teploty a mění se nerovnoměrné rozložení srážek v průběhu roku. Dochází k dlouhým bezdeštným obdobím, kdy neprší celé týdny. Většina srážek je potom soustředěna v krátkém časovém rozmezí, či přichází v podobě přívalových dešťů.

Současná krajina má navíc omezenou schopnost se s těmito jevy vypořádat. V důsledku rozvoje lidských sídel a infrastruktury vzniklo a vzniká mnoho zpevněných ploch, z kterých voda rychlé odtéká aniž by vsákla. Nešetrným zemědělským hospodařením se z půdy téměř vytratila organická složka, čímž ztrácí schopnost vázat vodu. Velké lány a nedostatečná pestrost krajiny mají za následek taktéž zvýšený povrchový odtok. Tyto jevy se následně projevují v podobě sucha či povodní.

Naším úkolem, abychom se těmito událostem vyhnuli, je pomocí různých opatření vodu v krajině zadržovat a jedním z těchto opatření jsou právě malé vodní nádrže. Jejich budování vede k zvyšování biodiverzity krajiny a také k zvyšování její estetické hodnoty. Jsou v nich zachycovány srážky, které je možné využít v následujícím bezdeštném období. Může docházet také k vsakování vody z nádrží, čímž se obnovují zásoby podzemní vody. Výpar z vodní hladiny zase pomáhá zlepšovat mikroklima. V dnešní době se tedy na malé vodní nádrže můžeme dívat jako na prvky krajiny, které zlepšují její stabilitu a jsou jedním z nástrojů adaptace na změny klimatu.

2 Cíl práce

Cílem této bakalářské práce je zpracovat studii malé vodní nádrže v katastrálním území Soběšice v Jihomoravském kraji. Podnět pro zpracování této studie vyšel od majitele pozemku, který je v současné době nevyužíván a jako vhodný způsob využití se nabízí právě výstavba malé vodní nádrže.

Studie se skládá z textové a výkresové části. Textová část obsahuje nejprve stručný úvod do problematiky malých vodních nádrží, popis lokality, technické řešení hráze včetně sdruženého objektu a zátopy. Dále jsou součástí textové části hydrotechnické výpočty. Jde například o stanovení návrhového průtoku, zjednodušenou vodní bilanci či návrh bezpečnostního přelivu. Výkresová část nám dává představu o možné podobě hráze a funkčního objektu.

Hlavní funkcí nádrže bude retence vody v krajině, tuto vodu bude také možno díky přístupu po užitkové komunikaci využít pro požární účely. Vzhledem ke skutečnosti, že se nádrž nachází v blízkosti obce je možno předpokládat, především v letních měsících, také s rekreačním využitím.

3 Literární přehled

Existuje celá řada literatury zabývající se problematikou malých vodních nádrží. V následující kapitole bude toto téma stručně shrnuto.

3.1 Definice malé vodní nádrže

Dle normy ČSN 75 2410 [1] jsou jako malé vodní nádrže definovány nádrže se sypnými hrázi, které splňují tyto podmínky:

- objem nádrže po hladinu ovladatelného prostoru (normální hladinu) není větší než 2 mil. m³,
- největší hloubka nádrže nepřesahuje 9 m (největší hloubkou se rozumí největší hloubka od maximální hladiny s tím, že se nebere v úvahu koryto rybníční stoky a místní prolákliny).

Citovaná norma [1] se taktéž doporučuje při rekonstrukcích stávajících, především tedy historických nádrží, které uvedená kritéria přesahují. Pokud objem nádrže nepřesahuje 5 tis. m³, je možné upravit některé zásady, které jsou v normě uvedené. Norma neplatí pro odkaliště.

3.2 Historie

První zmínky o uměle budovaných nádržích pocházejí již z období 2000 let př. n. l. a to z prvních starověkých civilizací jako je Mezopotámie, Egypt, Čína či Indie. Budování nádrží v těchto zemích je spojeno především s potřebou závlah v zemědělství. Na významných obchodních stezkách v suchých oblastech byly budovány nádrže s pitnou vodou. Ve starověkém Řecku a později Římě byly budovány nádrže pro zásobování měst pitnou vodou a pro chov ryb. [3]

Počátky budování umělých nádrží na našem území sahají do 8. a 9. století. První písemná zmínka o rybnících pochází z roku 1115. Zpočátku budovaly rybníky především řeholní řády za účelem chovu ryb. Později začala z budováním také šlechta, která viděla zisky plynoucí z chovu ryb. [4]

Ve 14. století došlo ke zdokonalení budování rybníků. Začaly být stavěny vysoké hráze vybaveny bezpečnostními přelivy. Výstavba rybníků v močálových oblastech přispěla k ozdravení krajiny a zpevněné hráze rybníků k rozvoji cestní sítě. [4]

Z důvodu husitských válek dochází v 15. století k útlumu rybníkářství, které ovšem nemělo dlouhého trvání. Již koncem století začínají Rožmberkové s budováním rybníků na Třeboňsku. Na počátku 16. století zásluhou Štěpána Netolického vznikla ucelená rybníční soustava, jejíž součástí se stala Zlatá stoka - 40 km dlouhý umělý kanál přivádějící vodu do rybníků z Lužnice. Jako období největšího rozmachu rybníkářství se považuje počátek 17. století. V této době se na území Čech a Moravy nacházelo na 75 000 rybníků. [3]

V následujících letech ovšem dochází k útlumu. Řada rybníků byla zničena za třicetileté války. Další nepříznivou událostí bylo zrušení nevolnictví, to mělo za následek úbytek pracovní síly šlechty a hlad po půdě nových rolníků. V 19. století dochází k vysušování rybníků, jelikož se tato půda nabízí jako velmi vhodná pro nově pěstovanou cukrovou řepu. V tomto období ovšem dochází k postavení rybníkářství na vědecký základ. O výzkum v tomto odvětví se zasloužil především Prof. A. Frič, jehož poznatky do praxe aplikovali rybníkáři Václav Horák a Josef Šusta. K mírnému oživení rybníkářství došlo po druhé světové válce. V důsledku odsunutí německého obyvatelstva z pohraničních oblastí došlo k přechodnému nadbytku půdy a tím příznivých podmínek pro budování nových a obnovu dříve zaniklých nádrží. [2, 4]

3.3 Účel a rozdělení malých vodních nádrží

Malé vodní nádrže můžeme dělit z různých hledisek. Například dle způsobu napájení na pramenité, potoční, říční a nebeské. Z hlediska začlenění do krajiny dělíme nádrže na návesní, polní, lesní, luční atd. [4]

Norma ČSN 75 2410 [1] uvádí rozdělení dle funkce nádrže na:

- zásobní nádrže,
- ochranné nádrže,
- nádrže upravující vlastnosti vody,
- rybochovné nádrže,
- hospodářské nádrže,
- speciální účelové nádrže,
- asanační nádrže,
- rekreační nádrže,
- krajinnotvorné nádrže a nádrže v obytné zástavbě.

Malá vodní nádrž může být vystavěna za účelem plnění jedné konkrétní funkce, například za účelem chovu ryb, jedná se tedy o rybochovnou nádrž. Většina malých vodních nádrží ovšem plní vedle této dominantní funkce další funkce vedlejší, jedná se tedy o nádrže víceúčelové. [4]

3.4 Současné problémy malých vodních nádrží

Současný nepříliš uspokojivý stav malých vodních nádrží je dán hlavně dlouhodobou nedostatečnou údržbou. Do údržby, ale také do prevence negativních vlivů bylo vkládáno málo investic. V současné době se vyskytující problémy můžeme rozdělit podle jejich charakteru na problémy technické, vodohospodářské, ekologické, majetkoprávní a ekonomické. Při řešení těchto problémů je třeba uvažovat nádrže nikoliv izolovaně, ale zabývat se celým povodím a vzájemnými vazbami s prostředím, kde se nachází. [2]

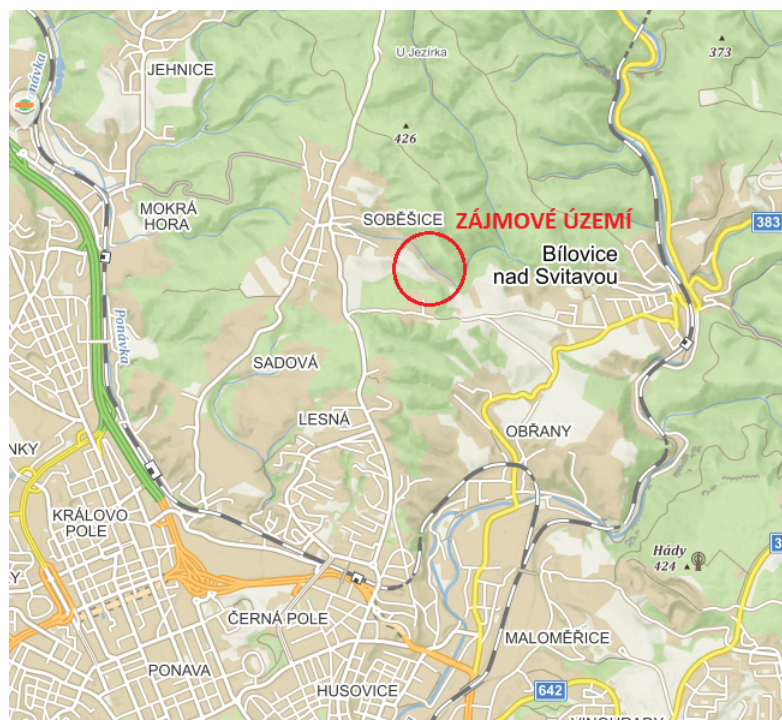
Technické problémy souvisí se stářím nádrží a jejich údržbou. Týkají se především hrází a funkčních objektů. Dle technicko-bezpečnostního pohledu nevyhovělo z posuzovaných hrází 32% na posouzení proti přelítí hráze při návrhovém průtoku. Hlavním vodohospodářským problémem je zanášení nádrží sedimenty. K nadměrnému zanášení dochází zejména kvůli nešetrnému hospodaření na zemědělské půdě, které vede erozi k zemině. Tyto sedimenty zvyšují obsah živin ve vodě a mohou působit také toxicky, zhoršují schopnosti funkčních objektů, zmenšují zásobní prostor, s čímž souvisí zarůstání nádrží vegetací a zvyšování ztrát evapotranspirací. Z ekologických problémů řešíme především jakost vody, vlastnosti sedimentů a ochranu flóry a fauny. Přičemž kvalita vody v nádrži je ovlivňována celým povodím, především tedy plošnými a bodovými zdroji znečištění. [2]

Během privatizace v devadesátých letech byla část malých vodních nádrží převedena do soukromého vlastnictví nebo se stala majetkem právnických osob. Kvůli tomu nastávají i problémy majetkoprávní. S novými vlastníky přichází také problémy ekonomické, jelikož tito majitelé většinou nemají dostatek finančních prostředků na údržbu a rekonstrukci malých vodních nádrží. V tomto případě má pomoci podpora ve formě dotací ze strany státu. [2]

4 Popis lokality

4.1 Identifikační údaje

Zájmová lokalita (49.2532644N;16.6258497E) se nachází v katastrálním území Soběšic, které jsou městskou částí Brna na jeho severním okraji. Žije zde přibližně 2 265 obyvatel. Pozemek, na kterém je malá vodní nádrž navrhovaná, se nachází zhruba 300 m východně od této obce a protéká jím Soběšický potok, který pramení v intravilánu Soběšic.

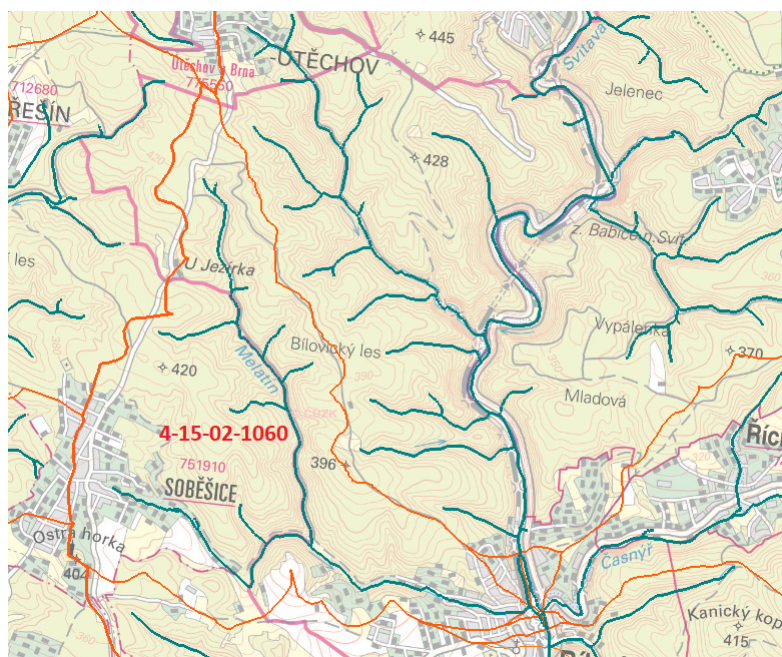


Obr. 4.1: Vyznačení zájmového území v mapě (zdroj: mapy.cz)

4.2 Hydrografické údaje

Výstavba malé vodní nádrže je plánována na vodním toku jménem Soběšický potok ID 10192555. Pramení v obci Soběšice, jeho délka je přibližně 2,17 km a poté co do něj přitéká bezejmenný levostranný přítok v 0,4 říčním kilometru se vlévá do potoku Melatín. Tento potok je již vodním tokem IV. řádů a vlévá se do Svitavy v říčním kilometru 15,896 v Bílovicích nad Svitavou. [5]

Povodí potoku Melatín má číslo hydrologického pořadí 4-15-02-1060 a plochu 6,82 km². Jedná se o povodí IV. řádu, které je součástí povodí Moravy. Správcem Soběšického potoka jsou Lesy České republiky, s. p. [6]



Obr. 4.2: Povodí potoku Melatín [6]

4.3 Klimatické poměry

Podle Quitta spadá tato lokalita do teplé oblasti T2. Pro tuto oblast je typické dlouhé, teplé, suché léto. Jaro i podzim jsou krátké a taktéž teplé. Zima je v této oblasti mírná a suchá. Průměrné klimatické hodnoty jsou uvedeny v následujících tabulkách: [7]

Tab. 4.1: Průměrný měsíční úhrn srážek [mm] [8]

měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Brno - Tuřany	25	23	31	28	60	66	61	52	42	35	36	35

Tab. 4.2: Průměrná měsíční teplota vzduchu [$^{\circ}\text{C}$] [8]

měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Brno - Tuřany	-2	-0.3	4.4	9.6	14.3	17.5	19.3	19.2	14.8	9.4	4	-0.3

Tab. 4.3: Průměrná měsíční doba slunečního svitu [h] [8]

měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Brno - Tuřany	53.6	82.2	137.5	208.1	230.8	243.5	244.9	247.3	174.2	110.1	59.9	43.3

Tab. 4.4: Další klimatické ukazatele [8]

Počet dní se sněhovou pokrývkou	37
Počet ledových dní ($T_{\max} < 0$)	28
Počet arktických dní ($T_{\max} < -10$)	4
Počet tropických dní ($T_{\max} > 30$)	10

4.4 Geomorgologie

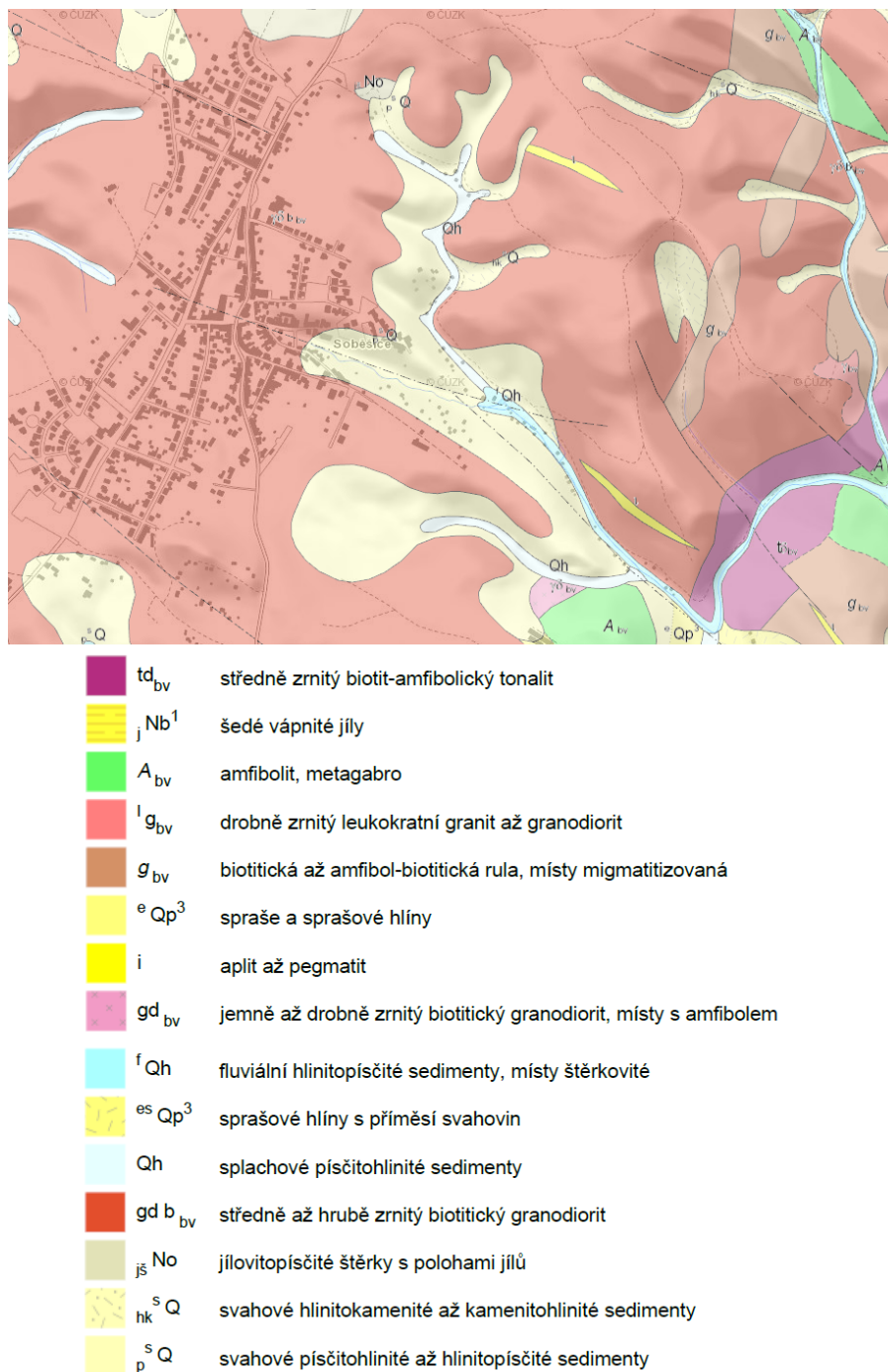
Z hlediska geomorfologického členění je zájmová lokalita součástí geomorfologického okrsku Soběšická vrchovina, ta spadá pod podcelek Adamovská vrchovina, jež je součástí geomorfologického celku Dražanská vrchovina. Tento celek patří do geomorfologické oblasti Brněnská vrchovina patřící do Česko-moravské subprovincie, jež je součástí provincie Česká vysočina. [9]

Na stavbě Adamovské vrchoviny se podílejí převážně horniny brněnského masivu, devonské vápence Moravského krasu a bazální slepence devonu. Povrch je zastoupen sítí tektonických sníženin a hlubokých údolí, které mezi sebou uzavírají oblasti s klenutým reliéfem. [10]

4.5 Geologické poměry

Dle geologické mapy se v povodí vyskytují převážně středně až hrubě zrnité biotitické granodiority patřící do regionu brunovistalikum, které můžeme zaznamenat v nejvyšších partiích povodí. [11]

Níže v údolí se na svazích nacházejí písčitohlinité až hlinitopísčité kvartérní sedimenty. V údolnici potom můžeme nalézt kvartérní splachové písčitohlinité až hlinitopísčité sedimenty. V místě samotné zátopy a hráze se nalézají kvartérní fluvialní hlinitopísčité, místy štěrkovité sedimenty. [11]

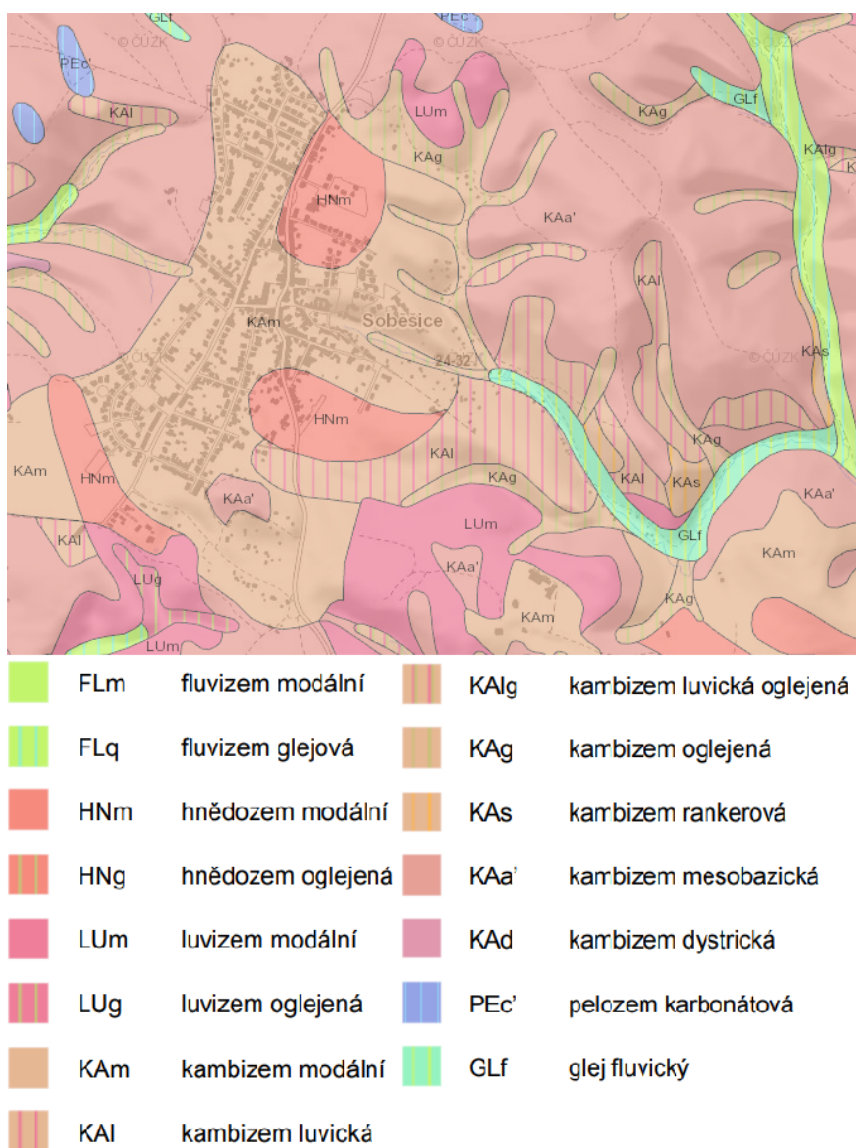


Obr. 4.3: Výřez z geologické mapy [11]

4.6 Pedologické poměry

V povodí vztaženému k předpokládanému umístění hráze, tedy k uzávěrovému profilu tohoto povodí, se dle půdní mapy nacházejí především kambizemě modální a kambizemě mesobazické. V menší míře potom můžeme zaznamenat výskyt modálních hnědozemí, luvických kambizemí a modální luvizemě. [12]

V údolnicích v horní části povodí se vyskytují kambizemě oglejené. V místě samotné nádrže potom glej fluvický. [12]



Obr. 4.4: Výřez z půdní mapy [12]

4.7 Větrné poměry

Z hlediska větrných podmínek je důležitá především extrémní rychlost větru pro výpočet parametrů vln vznikajících na vodní hladině v závislosti na směru větru. Tyto hodnoty vztahující se přímo k místu nádrže byly převzaty z mapy extrémních nárazů větru ve výšce 10 m nad povrchem. [13]

4.8 Vlastní terénní průzkum

Terénní pochůzka zájmovým územím proběhla 27. 3. 2018. Pozornost byla věnována možnému umístění hráze a sdruženého funkčního objektu. Byl zjištěn současný stav budoucí zátopy, její přibližná velikost a rozsah odstranění dřevin v zátopě. Dále byla zhodnocena možnost těžby zeminy v zátopě pro výstavbu hráze a možnost přístupu na staveniště. Během této pochůzky byly pořízeny fotografie zájmového území.



Obr. 4.5: Pohled do předpokládané zátopy (foto: autor)



Obr. 4.6: Předpokládané místo pro sdružený funkční objekt (foto: autor)



Obr. 4.7: Pohled na pozemek z účelové komunikace (foto: autor)

5 Stanovení návrhového průtoku

Stanovení návrhového průtoku je důležité pro návrh bezpečnostního přelivu, který bude u této stavby součástí sdruženého objektu. Tento kulminační průtok musí bezpečnostní přeliv převést, aby nedošlo k poškození hráze přelitím.

5.1 Požadovaná míra bezpečnosti vodního díla

Požadovaná míra bezpečnosti vodního díla při povodni, tedy pravděpodobnost překročení kulminačního průtoku je dána normou ČSN 75 2935 [14] a odvíjí se od kategorie vodního díla.

Tab. 5.1: Požadovaná míra bezpečnosti pro návrh a posuzování vodního díla [14]

Kategorie vodního díla	Pravděpodobné škody při hypotetické havárii vodního díla	Hodnotící hlediska podle potenciálního rozsahu škod při hypotetické havárii vodního díla		Požadovaná míra bezpečnosti VD	
		Potencionální rozsah celkových škod	Uvažované ztráty lidských životů	$p = 1/N$	N (let)
I.	velmi vysoké	mimořádně vysoké ekonomické škody, škody na životním prostředí a sociální dopady v rozsahu státu	ztráty lidských životů se předpokládají	0.0001	10 000
II.	vysoké	vysoké ekonomické škody, škody na životním prostředí a sociální dopady v rozsahu regionu, případně státu	ztráty lidských životů se předpokládají	0.0001	10 000
			ztráty lidských životů jsou nepravděpodobné	0.0005	2 000
III.	střední	vysoké ekonomické škody, škody na životním prostředí a sociální dopady v rozsahu regionu	ztráty lidských životů se předpokládají	0.001	1 000
			ztráty lidských životů jsou nepravděpodobné	0.005	200
IV.	nízké	nízké ekonomické škody, škody na životním prostředí a sociální dopady lokálního rozsahu	předpokládají se ojedinělé ztráty lidských životů	0.005	200
			ztráty lidských životů jsou nepravděpodobné	0.01	100
		nízké ekonomické škody pouze u vlastníka VD, ostatní škody jsou nevýznamné	ztráty lidských životů jsou nepravděpodobné	0.05	20

Navrhovaná malá vodní nádrž spadá do IV. kategorie, přitom ztráty na lidských životech se nepředpokládají. Po tomto vodním díle je tedy vyžadováno, aby bylo navrženo na stoletý průtok.

Jelikož jde o malé povodí, byla pro stanovení návrhového průtoku byla zvolena metoda pomocí CN křivek a jako návrhový déšť byl zvolen maximální stoletý 24-hodinový déšť. Pro samotný výpočet byl použit program ERCN.

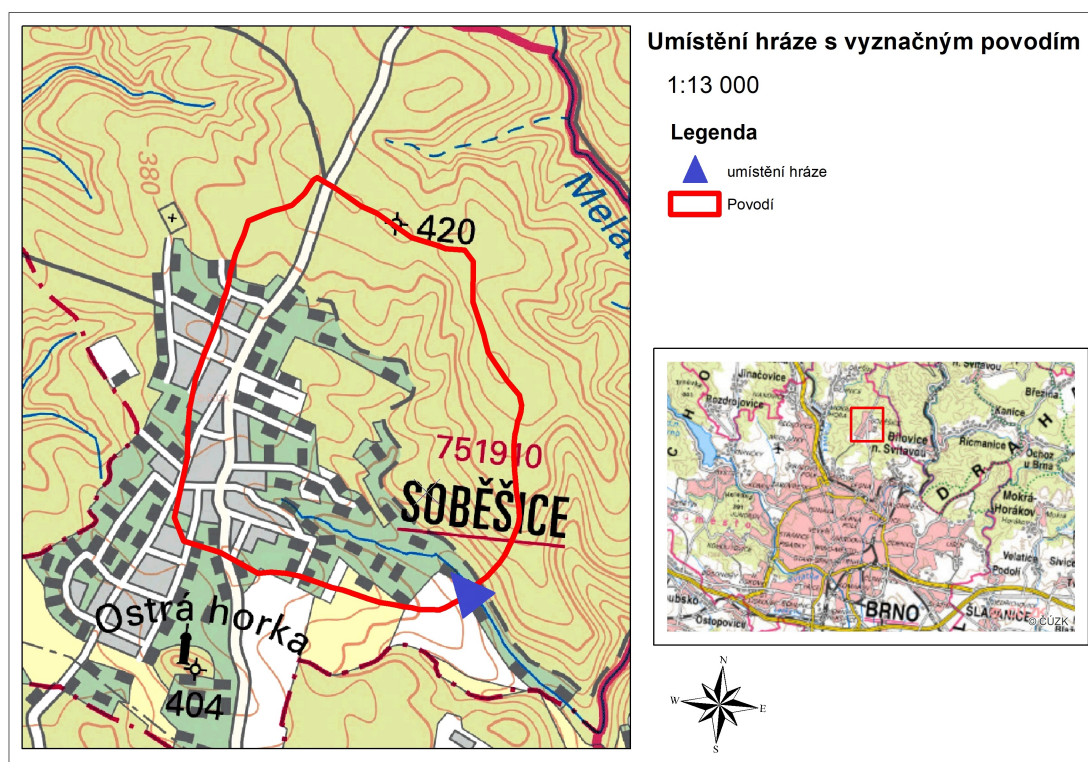
5.2 Vstupní hodnoty

Pro výpočet kulminačního průtoku metodou CN křivek je třeba znát plochu povodí, průměrnou hodnotu CN křivky, hodnotu návrhového deště a dobu koncentrace.

5.2.1 Povodí

Povodí je vymezeno ručně vykreslenou rozvodnicí v programu ArcGIS. K tomuto účelu posloužila základní mapa ZM 50 s vrstevnicemi.

Postup vykreslení rozvodnice je následující: začíná se od uzavírajícího profilu a pokračuje se kolmo na vrstevnice až na vrchol či hřeben. Při dosažení vrcholu se následně začíná rozvodnice vykreslovat z nejbližšího rozvodnicového sedla zpět na vrchol, následně druhým směrem k druhému vrcholu. Při dosažení hřebenu se pokračuje po hřebeni znovu na vrchol. Vykreslené povodí je na obrázku 5.1. [15]



Vyznačené povodí má plochu $A = 128,15$ ha.

5.2.2 Návrhový déšť

Jako návrhový déšť byl zvolen jednodenní déšť s dobou opakování sto let. V knihovně programu ERCN jsou k dispozici hydrologická data z různých srážkoměrných stanic. Nejbližší srážkoměrnou stanicí pro řešenou oblast je srážkoměrná stanice Brno - Husovice, odkud byl vybrán úhrn srážek o hodnotě $H = 80,2$ mm.

5.2.3 Průměrná hodnota CN křivky

CN je hodnota, které udává poměr mezi hodnotou spadlých srážek a povrchovým odtokem. Pokud se $CN = 100$, veškerý déšť se přemění na povrchový odtok. Její hodnota závisí na typu povrchu a na HSP (hydrologická skupina půdy), které charakterizuje hlavní půdní jednotka, tu zjistíme z 2. a 3. čísla BPEJ (bonitovaná půdně ekologická jednotka). [16]

V zájmovém povodí se vyskytují různé typy pokryvu povrchu v závislosti na využití území. Tyto plochy mají rozdílné hodnoty CN křivek, ze kterých je potřeba spočítat průměrnou hodnotu, která bude charakterizovat zájmové povodí a vstupovat do výpočtu. Tuto průměrnou hodnotu CN křivky spočítáme váženým průměrem podle vzorce (5.1), přehled jednotlivých ploch je potom uveden v tab. 5.2.

$$CN_{prům} = \frac{\sum CN_i \cdot A_i}{\sum A_i} \quad (5.1)$$

Tab. 5.2: Přehled ploch v povodí

Povrch	HSP	Plocha	CN
[-]	[-]	[ha]	[-]
les	D	63.76	79
intravilán	A	26.15	59
	B	4.08	74
sady	A	10.24	43
	B	3.18	65
	D	5.75	82
louky	A	2.41	30
	B	5.15	58
křoviny	A	1.24	35
	B	6.18	56
	Σ	128.15	

Průměrná hodnota CN vyšla $CN_{prům} = 68,37$. Je potřeba uvést, že pro lesní pozemky nebylo k dispozici číslo BPEJ, proto byla vybrána nejneprůznivější hydrologická skupina půd (D), tedy ta s největší hodnotou CN křivky.

5.2.4 Doba koncentrace

Doba koncentrace (T_c) je čas potřebný pro odtok z hydraulicky nejvzdálenějšího místa povodí do uzávěrového bodu. Je součtem jednotlivých dob doběhu. [16]

$$T_c = T_{ta} + T_{tb} + T_{tc} \quad (5.2)$$

T_{ta}doba doběhu plošného povrchového odtoku

T_{tb}doba doběhu soustředěného odtoku o malé hloubce

T_{tc}doba doběhu soustředěného odtoku v otevřeném korytě

O výpočet jednotlivých dob doběhu a doby koncentrace se stará již zmiňovaný program ERCN. Je ovšem potřeba znát hodnoty vstupující do výpočtu, které jsou spolu s potřebnými vzorci uvedeny v následujících odstavcích.

Plošný povrchový odtok

Než nastane v povodí soustředěný odtok teče voda prvních 100 m tzv. plošným povrchovým odtokem. Doba doběhu tohoto odtoku vypočítáme podle následující rovnice: [16]

$$T_{ta} = \frac{0,007 \cdot \left(\frac{n \cdot l}{0,3048}\right)^{0,8}}{\left(\frac{H_{S2}}{25,4}\right)^{0,5} \cdot s^{0,4}} \quad (5.3)$$

$l = 100$ m.....délka proudění

$n = 0,4$drsnost

$s = 0,25 (\text{tg}\alpha)$hydraulický sklon

$H_{S2} = 33,40$ mm.....24-hodinový déšť s dobou opakování dva roky

Soustředěný odtok o malé hloubce

Plošný povrchový odtok se po cca 100 m mění v soustředěný odtok o malé hloubce. Jeho doba doběhu se spočítá podle vzorce (5.4).

$$T_{tb} = l / 3600 \cdot v \quad (5.4)$$

přičemž průměrnou rychlost v spočítáme ze vzorce pro nezpevněný povrch:

$$v = 4,918 \cdot s^{0,5} \quad (5.5)$$

$l = 1082$ m.....délka proudění

$s = 0,058 (\text{tg}\alpha)$hydraulický sklon

Soustředěný odtok v otevřeném korytě

Soustředěný odtok o malé hloubce končí tam, kde začíná voda vytvářet koryto, jehož parametry jsou potřebné pro výpočet. Skutečné rozměry nebyly v terénu naměřeny, průtočný profil a taktéž drsnost byly tedy odhadnuty podle pořízených fotografií. Tato doba doběhu se vypočte ze vztahu (5.4), přičemž průměrnou rychlost v spočítáme ze vzorce:

$$v = l/n \cdot R^{\frac{3}{2}} \cdot s^{0,5} \quad (5.6)$$

$l = 253 \text{ m}$délka proudění
 $n = 0,033$drsnost
 $s = 0,043 (\text{tg} \alpha)$hydraulický sklon
 $A = 0,5 \text{ m}^2$plocha příčného profilu
 $O = 1,9 \text{ m}$omočený obvod

5.3 Výpočet

Pro výpočet kulminačního průtoku byl použit program ERCN, který používá metodu CN křivek. Program rovněž vypočítá dobu koncentrace, nezbytnou pro výpočet průtoku. Výstup z výpočtu je na obrázku 5.2.

Výpočet kulminačního průtoku a transportu splavenin pomocí metody CN - křivek

Zadání vstupních hodnot:
 Plocha povodí: 128,15 ha
 Průměrné CN: 68,37
 Max. 24-h srážkový úhrn: 80,20 mm
 Opravný koef. nádrží: 1,00

Zadání transportu splavenin:
 Průměrná délka l: m
 Průměrná svažitost s: ‰
 Faktor K:
 Faktor C:
 Faktor P: 1,00

Celková doba koncentrace:
 Délka: l = 100 m
 Drsnost: n = 0,400
 Dvouletý 24-h déšť: Hs2 = 33,40 mm
 Tta = 0,526 h

Soustředěný odtok o malé hloubce:
 Délka: l = 1082 m
 Drsnost: n = 0,033
 Plocha příč. profilu: F = 0,5 m²
 Rychlost: v = 1,184 m/s
 Ttb = 0,254 h

Soustředěný odtok v otevřeném korytě:
 Délka: l = 253 m
 Drsnost: n = 0,033
 Plocha příč. profilu: F = 0,5 m²
 Rychlost: v = 2,580 m/s
 Omočený obvod: O = 1,9 m
 Ttc = 0,027 h
 Tc = 0,027 h

Výsledky:
 Přímý odtok: 18,45 mm
 qpH = 0,50 m³/s
 QpH = 23648,10 m³/s
 G = t

Obr. 5.2: Výpočet pomocí programu ERCN

Návrhový kulminační průtok Q_{100} byl tedy stanoven $3,29 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

6 Předpokládané technické řešení

Návrh malé vodní nádrže byl proveden v souladu s normou ČSN 75 2410 [1]. Hráz včetně sdruženého funkčního objektu a odpovídající velikost zátopy byla navržena s ohledem na možnosti pozemku, na kterém byla nádrž navržena a na základě hydrotechnických výpočtů (kap. 7).

6.1 Základní technické parametry stavby

Účel nádrže:	víceúčelová
Typ nádrže:	průtočná
Objem stálého nadržení:	2 994,8 m ³
Plocha nádrže (při max. zásobní hladině):	2 018,6 m ²
Hladina stálého nadržení:	322,50 m n. m.
Maximální objem:	3 850,1 m ³
Plocha nádrže (při maximální hladině):	2 258,3 m ²
Maximální hladina:	322,90 m n. m.
Kóta koruny hráze:	323,50 m n.m.

6.2 Hráz

Byla navržena homogenní sypaná hráze lichoběžníkového tvaru. Materiál pro stavbu hráze bude těžen v zemníku v místě budoucí zátopy. Předpokládáme, že zeminou pro stavbu hráze je jíl s nízkou až střední plasticitou, který je dle normy ČSN 75 2410 [1] pro stavbu homogenních hrází hodnocen jako vhodný. Sklony byly dle tabulky v [1] navrženy 1:3,7 pro návodní svah a 1:2,2 pro vzdušný svah.

Předpokládaná maximální výška hráze je 3,6 m a její délka je 38 m. Šířka v koruně je 3 m a převýšení koruny nad maximální hladinu je 0,6 m. Koruna bude vypádovaná směrem ke vzdušnému svahu ve sklonu 2%.

V místě základové spáry bude sejmuta ornice v tloušťce 0,5 m. Hráz bude do podloží zavázána zavazovacím zámkem založeným 0,5 m pod upravený terén. V místě základové spáry bude široký 3 m a bude procházet pod celou hrází. Na vzdušní straně hráze bude patní drén, který bude odvádět prosáklou vodu tělesem hráze do toku. Drén sestává z perforovaných PVC trubek DN 200, které budou obsypány dobře propustným hrubozrnným materiálem. Proti sufozi bude zemina hráze chráněna filtrační vrstvou.

Koruna hráze a vzdušní svah budou ohumusovány v tl. 0,1 m a osety trávni směsí. Návodní svah bude opevně kamenným pohozem frakce 200 mm a stabilizační kamennou patkou. Zde bude použito filtru o dvou vrstvách k zamezení sufoze. Při levém břehu bude vybudováno obratiště, které bude v případě potřeby sloužit požárním vozům. Znamená to rozšíření koruny hráze a její úpravu pro pojezd vozidel. Pozornost bude věnována založení hráze při styku s účelovou komunikací, kde podle potřeby bude muset být upraveno podloží této cesty.

6.3 Sdružený funkční objekt

Sdružený funkční blok spojuje dohromady výpustné zařízení a bezpečnostní přeliv, jedná se o jednoduché jednopatrové řešení. Spodní výpust je požerákového typu s jednou dlužovou stěnou. Výška požeráku je 3,77 m. Tloušťka železobetonových stěn je po celé výšce 100 mm s tím, že jedna stěna je zabudovaná do konstrukce bezpečnostního přelivu. Rozměry dluží jsou 400x150x30 mm. Přístup k požeráku je zajištěn po ocelové lávce se zábradlím široké 1 m. Ze shora je požerák opatřen uzamykatelným ocelovým poklopem.

Bezpečnostní přeliv byl navržen železobetonové konstrukce a je z části zapuštěn do hráze. Délka přelivných hran je 3,1 m, celková délka přelivu potom 3,9 m. Boční stěny jsou široké 0,6 m, čelní stěny jsou široké 0,4 m. Koruna přelivné hrany s poloměrem zakřivení 0,3 m se nachází na kótě 322,50 m n. m. Při návrhovém průtoku $Q_{100} = 3,29 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ je přepadová výška 0,4 m. Spadiště je široké 1,6 m. Dno je opevněno kamenem do betonu a má sklon 0,5%.

Sdružený objekt dále pokračuje odpadní štolou, která převádí vodu hrází. Tato štola je navržena tak, aby převedla návrhový průtok prouděním o volné hladině s nezatopeným vtokem. Šířka je stejná jako šířka spadiště a to 1,6 m. Výška je 1,4 m, v horní polovině jsou stěny zkoseny pod úhlem 45° . Stěna i strop této štoly jsou navrženy z železobetonu tloušťky od 0,3 m do 0,5 m. Sklon dna je 2 %. Veškeré stěny na styku s hrází jsou navrženy ve sklonu 10:1, aby bylo dosaženo dobrého spojení se zemínou.

K tlumení energie odtékající vody je navržen vývar. Ten byl navržen s bočním rozšířením 0,2 m, jeho šířka je tedy 2 m. Hloubka vývaru je 0,35 m, až po práh vývaru jsou stěny navrženy jako kolmé. Nad touto úrovní je ve sklonu 1:1 opevnění z lomového kamene do betonu.

6.4 Zátopa

V současné době je pozemek v místě zátopy nevyužíván, je podmáčen a nachází se na něm silná vrstva sedimentů. Před začátkem výstavby hráze budou tedy sedimenty ve vrstvě 0,5 metrů odtěženy. Dále budou z prostoru zátopy odstraněny veškeré stromy a keře. Na pozemku se nachází zahradní domek a oplocení, které bude rovněž odstraněno.

V prostoru zátopy bude vytvořen zemník pro získání materiálu na stavbu hráze, čímž také dojde k zvětšení zásobního objemu nádrže.

Dno bude vyspádováno směrem do odvodňovací stoky, která bude lichoběžníkového tvaru se sklonem svahů 1:2, šířkou ve dně 0,5 m a hloubkou 0,4 m.

Konec zátopy bude upraven jako litorální zóna o maximální hloubce 0,5 m s mírným sklonem svahů, aby bylo umožněno růstu mokřadních rostlin. Toto pásmo bude mít význam jak ekologický tak estetický.

7 Hydrotechnické výpočty

7.1 Charakteristické křivky nádrže

Charakteristické křivky nádrže, tzv. batygrafické křivky vyjadřují závislost mezi hloubkou vody, plochou hladiny a objemem vody v nádrži. Konkrétní hloubce vody tedy odpovídá konkrétní plocha hladiny a konkrétní objem vody. Určují se z vrstevnicového plánu nádrže. Objem vody mezi jednotlivými vrstevnicemi lze vypočítat ze vztahu: [18]

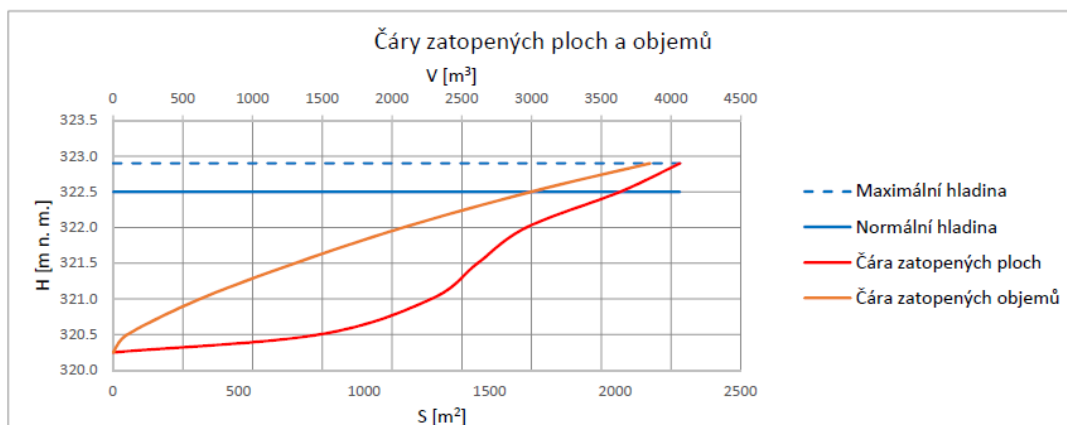
$$V_i = 0,5 \cdot (S_i + S_{i+1}) \cdot \Delta h \quad (7.1)$$

Kde S je plocha vymezená vrstevnicí a tělesem hráze a Δh je vzdálenost mezi jednotlivými vrstevnicemi. Postup výpočtu pro jednotlivé hloubky je zřejmý z tabulky 7.1. Čáry zatopených ploch a objemů jsou potom zobrazeny na obr. 7.1.

Tab. 7.1: Charakteristické čáry nádrže

i	Kóta hladiny	Δh	S_i	$0.5(S_i + S_{i+1})$	V_i	ΣV
	[m n. m.]	[m]	[m ²]	[m ²]	[m ³]	[m ³]
1	320.25	-	0	-	0.0	0.0
2	320.50	0.25	820.1	410.1	102.5	102.5
3	321.00	0.50	1267.6	1043.8	521.9	624.4
4	321.50	0.50	1451.8	1359.7	679.8	1304.3
5	322.00	0.50	1645.8	1548.8	774.4	2078.7
6	322.50	0.50	2018.6	1832.2	916.1	2994.8
7	322.90	0.40	2258.3	2138.4	855.4	3850.1

Za normálních okolností bude hladina sahat po hranu bezpečnostního přelivu, udává tedy zásobní objem nádrže, který je při této hladině 2 994,8 m³. Polohu maximální hladiny určuje návrhová přepadová výška bezpečnostního přelivu, která je 0,4 m. Mezi těmito dvěma hladinami je neovladatelný retenční prostor, který má objem 855,4 m³. Dohromady dávají tyto objemy maximální objem nádrže, který je 3850,0 m³.



Obr. 7.1: Batygrafické křivky

7.2 Stanovení převýšení hráze

Nádrž byla navržena tak, že hladina maximálního zásobního objemu se nachází na kótě 325,50 m n. m. a maximální hladina na kótě 322,90 m n. m. Maximální hladinou rozumíme hladinu v nádrži, která se vyskytne při návrhovém průtoku, kdy voda přepadá přes bezpečnostní přeliv. Bylo tak navrženo s ohledem na okolní pozemky a přílehlou účelovou komunikaci, aby nedošlo k jejímu zatopení.

Nad tuto maximální hladinu je tedy nutno korunu hráze převýšit. Dle normy ČSN 75 2410 [1] zohledňujeme při návrhu převýšení tyto aspekty:

- vliv větrových vln,
- typ konstrukční řešení hráze z hlediska odolnosti při přelití,
- konstrukční řešení a umístění těsnícího prvku hráze,
- předpokládané sedání tělesa hráze a podloží,
- ochranu tělesa hráze.

Ochranu tělesa zajistíme dodatečným převýšením hráze, kdy vycházíme z výšky výběhu větrových vln, která je spočítána v následujících kapitolách, přičemž nepripouštíme možnost přelití hráze. K této hodnotě je navíc připočtena bezpečnostní rezerva. Konstrukčně jde o homogenní hráz, těsnícím prvkem je tedy celé těleso hráze, které bude o cca 0,6 m převýšeno nad maximální hladinu. Sedání hráze nebylo spočítáno, bereme tedy přibližnou hodnotu sednutí 1% výšky hráze, o kterou bude hráz přesypána.

7.2.1 Výpočet výběhu větrových vln

Pro výpočet výšky výběhu vln na hrázové těleso postupujeme dle normy ČSN 75 0255. [17]

Vstupní hodnoty

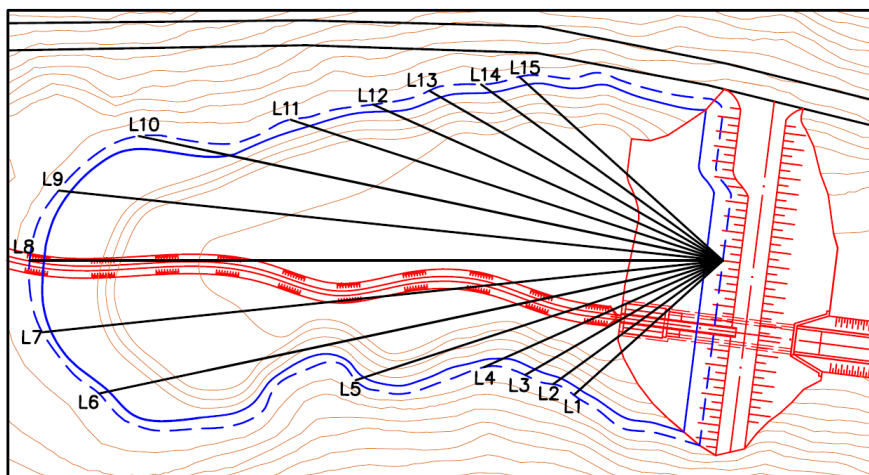
Pro výpočet výšky výběhu větrových vln potřebujeme znát výchozí podmínky pro výpočet, kterými jsou efektivní délka rozběhu větru L_{ef} a rychlost větru ve výšce 10 m nad terénem ω_{10z} .

K tomu ČSN 45 0255 [17] uvádí: *Předpokládá se, že vítr přenáší energii na hladinu vody ve všech směrech v rozpětí úhlu 90° s osou shodnou s hlavním směrem větru. Efektivní délka rozběhu větru se stanoví z 15 radiál vedených zkoumaným bodem tak, že střední radiála je totožná s hlavním směrem větru a sedm radiál po její každé straně se kreslí v intervalech po 6° .*

Efektivní délku rozběhu vln vypočteme ze vzorce:

$$L_{ef} = \frac{\sum L_i \cdot \cos^2 \varphi_i}{\sum \cos \varphi_i} \quad (7.2)$$

kde: L_i je délka i-té radiály a φ je úhel, který i-tá radiála svírá s hlavním směrem větru. Radiály jsou znázorněny na obr. 7.2 a jejich délky v tab. 7.2.



Obr. 7.2: Schéma k výpočtu efektivní délky rozběhu větru

Tab. 7.2: Délky radiál a jejich úhly

L_i	α	$\cos\alpha$	L_i	α	$\cos\alpha$
[m]	[°]	[-]	[m]	[°]	[-]
21.56	42	0.74	71.84	6	0.99
22.57	36	0.81	64.26	12	0.98
24.55	30	0.87	46.71	18	0.95
28.11	24	0.91	40.36	24	0.91
41.55	18	0.95	36.47	30	0.87
68.61	12	0.98	32.17	36	0.81
73.62	6	0.99	29.47	42	0.74
74.57	0	1.00		Σ	13.51

Po dosazení těchto hodnot do vzorce (7.2) vyšla efektivní délka rozběhu vln $L_{ef} = 43,84$ m. Rychlost větru byla zjištěna z větrové mapy [13] pro dobu opakování 100 let. Pro naši lokalitu je tato hodnota $34,36 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Tuto hodnotu je třeba přepočítat na rychlost větru nad vodní hladinou podle vzorce:

$$\omega_{10v} = k \cdot \omega_{10z} \quad (7.3)$$

Součinitel k je závislý na délce rozběhu větru a určíme jej z tabulky 7.3.

Tab. 7.3: Přepočet na rychlost větru nad vodní hladinou [17]

$L_{ef} (10^3 \text{ m})$	0.8	1	2	3	4	5	6	7	≥ 8
k	1.08	1.1	1.15	1.2	1.23	1.26	1.28	1.29	1.3

Jelikož se v tabulce nenachází hodnota pro naší efektivní délku rozběhu větru použijeme nejmenší hodnotu součinitele $k = 1,08$ a po dosazení do vzorce (7.3) získáme rychlost větru nad vodní hladinou $\omega_{10v} = 37,11 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Stanovení parametrů vln

V dalším kroku musíme stanovit parametry vln. Těmi jsou: výška vlny h , perioda vlny T a délka vlny λ . Na začátku výpočtu předpokládáme tvorbu vln v hlubokém pásmu. Výšku vlny h_{0c} určíme tak, že z příslušného grafu v [17] odečteme pro hodnotu výrazu $\frac{g \cdot L_{ef}}{\omega_{10v}^2}$ hodnotu výrazu $\frac{g \cdot h_c}{\omega_{10v}^2}$, ze kterého vypočteme výšku vlny h_{0c} .

Periodu vlny zjistíme obdobným způsobem. Z příslušného grafu v [17] odečteme pro hodnotu výrazu $\frac{g \cdot L_{ef}}{\omega_{10v}^2}$ hodnotu výrazu $\frac{g \cdot T}{2 \cdot \pi \cdot \omega_{10v}}$, ze kterého vypočteme periodu vlny T_{0c} . Délku vlny λ_{0c} vypočteme ze vzorce:

$$\lambda_0 = 1,56 \cdot T_c^2 \quad (7.4)$$

Nalezené hodnoty tedy jsou:

$$\begin{aligned} h_{0c} &= 0,31 \text{ m} \dots \dots \dots \text{výška vlny} \\ T_{0c} &= 1,62 \text{ s} \dots \dots \dots \text{perioda vlny} \\ \lambda_{0c} &= 4,09 \text{ m} \dots \dots \dots \text{délka vlny} \end{aligned}$$

Byl stanoven předpoklad, že se vlny tvoří v hlubokém pásmu, tento předpoklad platí, je-li splněna podmínka: $0,5 < \frac{H}{\lambda_0}$, kde H je střední hloubka nádrže, kterou zjistíme jako podíl objemu nádrže ku její ploše a je rovna 1,79 m.

Jelikož $\frac{H}{\lambda_0} = 0,305 < 0,5$, podmínka není splněna a předpoklad, že se vlny tvoří v hlubokém pásmu je vyvrácen. Je třeba výpočet parametrů vln provést znovu. Učiní se tak pro vlny v mělkém pásmu, pro které je splněna podmínka: $0,05 < \frac{H}{\lambda_0} < 0,5$.

Při stanovení výšky vln h_c a periody vln T_c postupujeme obdobně jako při postupu výpočtu v hlubokém pásmu jen při odečítání z grafu odečítáme z příslušné křivky odpovídající hodnotě výrazu: $\frac{g \cdot H}{\omega_{10v}^2} = 0,009$. Délku vlny λ_c určíme iteračním postupem ze vztahu:

$$\lambda_c = 1,56 \cdot T_c^2 \cdot \tanh \frac{2 \cdot \pi \cdot H}{\lambda_c} \quad (7.5)$$

Nově nalezené hodnoty parametrů vln tedy jsou:

$$\begin{aligned} h_{0c} &= 0,28 \text{ m} \dots \dots \dots \text{výška vlny} \\ T_{0c} &= 1,47 \text{ s} \dots \dots \dots \text{perioda vlny} \\ \lambda_{0c} &= 3,31 \text{ m} \dots \dots \dots \text{délka vlny} \end{aligned}$$

Stanovení výšky výběhu

Dle normy ČSN 75 0225 [13] vypočítáme výšku výběhu vln na svahy plošší než 1:1 ze vztahu:

$$h_{v1\%} = k_d \cdot k_p \cdot h_{1\%} \quad (7.6)$$

kde $h_{1\%}$ je výška vlny s pravděpodobností překročení jedno procento a zjistíme ji přepočtem výšky vlny h_c , k_d je součinitel závislý na způsobu opevnění svahu. V našem případě byl zvolen kamenný pohoz frakce 200 mm, kterému odpovídá součinitel $k_d = 0,45$. Součinitel k_p vyjadřuje vliv strmosti vlny a sklonu svahu a určíme jej z grafu v [17]. Jeho hodnota je: $k_p = 0,95$. Po dosazení dostaneme hodnotu výšky výběhu vln na svah s pravděpodobností 1% : $h_{1\%} = 0,17$ m.

Tuto hodnotu je ovšem ještě nutno opravit, jelikož dle normy posuzujeme hráz na výšku vlny s pravděpodobností překročení 13%. Tuto hodnotu získáme přenásobením hodnoty $h_{1\%}$ součinitelem k_i , který získáme z tabulky 7.4 a odpovídá hodnotě $k_i = 0,85$. Výsledná hodnota výšky výběhu vln je tedy $h_{13\%} = 0,145$ m.

Tab. 7.4: Přepočet na pravděpodobnost překročení [17]

Pravděpodobnost překročení výšky výběhu i [%]	0.1	1	2	5	10	13	30	50
Součinitel k_i	1.1	1	0.96	0.91	0.86	0.85	0.76	0.68

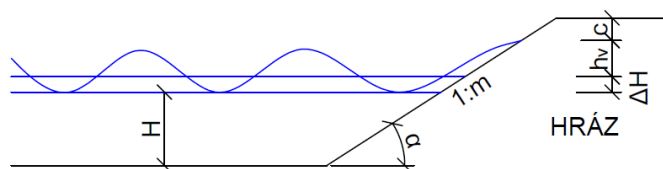
Norma [17] doporučuje: *Při posuzování účinků větrových vln je nutno uvažovat též vliv zvýšení návrhové hladiny nahnáním vody větrem ke břehu nádrže. Výška nahnání hladiny větrem ΔH se, při nedostatku přímých měření v přírodě, vypočte ze vzorce:*

$$\Delta H = k_w \frac{\omega_{10v}^2 \cdot L}{g \cdot H} \cdot \cos \delta \quad (7.7)$$

$k_w = 3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ součinitel závislý na rychlosti větru

$\delta = 0^\circ$ úhel svírající hlavní směr větru s osou hráze

Výsledná hodnota převýšení koruny hráze nad maximální hladinu byla nakonec stanovena 0,6 m, tedy na kótu 323,5 m n. m., měla by se nacházet ve stejné výšce jako již zmiňována účelová komunikace, což mimo jiné usnadní přístup na hráz.



Obr. 7.3: Převýšení koruny hráze

7.3 Vodohospodářská bilance nádrže

Zjednodušená bilance nádrže byla provedena pro jeden rok za účelem posouzení, zda přítok do nádrže bude dostatečný k jejímu napuštění a následnému provozu. Složky, které do bilance vstupují jsou veškeré ztráty vody, ke kterým dochází, přítok do nádrže, odtok z nádrže a odběry. Tyto vstupující hodnoty budou stanoveny v následujících kapitolách a následně budou vyhodnoceny.

7.3.1 Ztráty vody průsakem hrází

Při výpočtu průsaku vycházíme z předpokladu založení homogenní hráze na nepropustném podloží. Specifický průsak na 1 m délky hráze tedy určíme ze vztahu:

$$q = K \cdot \frac{H^2}{2 \cdot L} \quad (7.8)$$

kde K je součinitel hydraulické vodivosti. Předpokládáme, že hráz je vybudována z jílu s nízkou až střední plasticitou (CL-CI). Norma ČSN 75 2410 [1] udává součinitel K pro jíl s nízkou plasticitou (CL) v rozmezí $1 \cdot 10^{-7} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ - $1 \cdot 10^{-10} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Uvažujeme tedy střední hodnotu $5 \cdot 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. H je hloubka vody a L je vzdálenost mezi patním drénem a počátkem depresní křivky. Tato vzdálenost je zřejmá z obr 7.4 a její hodnota se určí pomocí následujících vztahů:

$$L = A + \lambda \cdot H + B + C \quad (7.9)$$

$$\lambda = \frac{m}{1 + 2 \cdot m} \quad (7.10)$$

$A = 3,8 \text{ m}$vzdálenost mezi korunou hráze a hladinou

$B = 3 \text{ m}$šířka koruny hráze

$C = 3,4 \text{ m}$vzdálenost drénu od koruny hráze

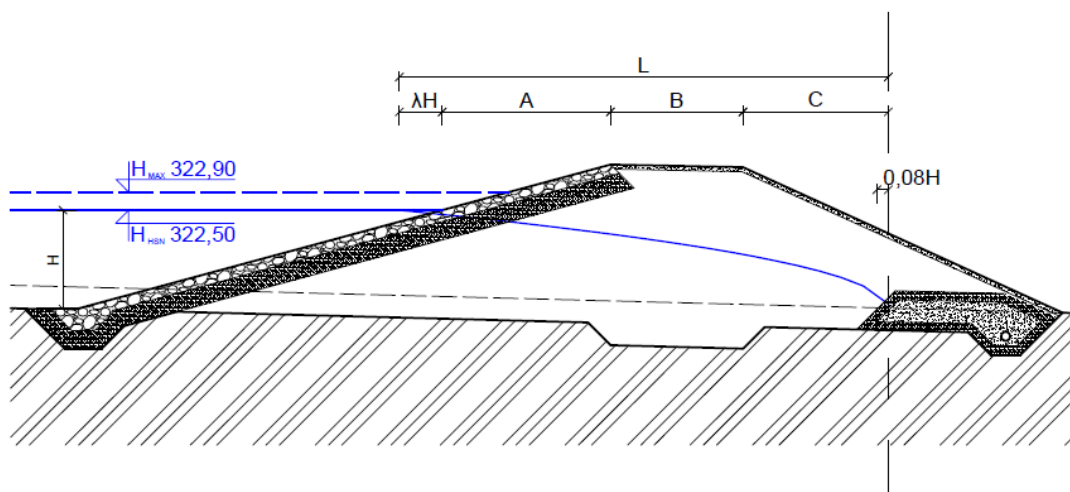
$H = 2,2 \text{ m}$hloubka vody

$m = 3,7$sklon návodního svahu

$\lambda = 0,44$

$L = 11,17 \text{ m}$

Specifický průsak na 1 m délky hráze vyšel: $1,08 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$. Po přenásobení délky hráze 38 m jsme získaly celkovou hodnotu průsaku $4,10 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, za rok tedy jde o objem $12,93 \text{ m}^3$.



Obr. 7.4: Schéma pro výpočet průsaku hrází a stanovení depresní křivky

Depresní křivka

Depresní křivka zobrazuje snížení hladiny prosakující vody v tělese hráze. Je žádoucí, aby se tato křivka nepřiblížila povrchu vzdušního svahu na méně než 0,8 m, jelikož by z důvodu promrzání mohlo dojít k porušení tělesa hráze. Souřadnice depresní křivky vypočtené pomocí vztahu (7.11) jsou uvedeny v tab. 7.5. Její průběh potom můžeme vidět na obr. 7.4.

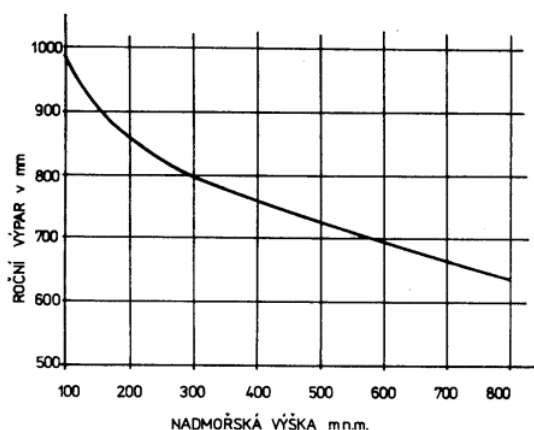
$$y^2 = \frac{H^2}{L} \cdot x \quad (7.11)$$

Tab. 7.5: Souřadnice depresní křivky

x (m)	0.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	10.50	11.17
y (m)	0.00	0.66	0.93	1.14	1.32	1.47	1.61	1.74	1.86	1.97	2.08	2.18	2.20

7.3.2 Ztráty vody výparem

Roční výšku výparu lze určit z grafu na obr. 7.5, který udává závislost mezi nadmořskou výškou a ročním výparem v mm. Když tuto výšku vynásobíme plochou nádrže, získáme objem vody, která se vypaří za rok.



Obr. 7.5: Roční výpar v závislosti na nadmořské výšce [18]

Plocha nádrže při normální hladině je $2018,6 \text{ m}^2$. Nadmořská výška této hladiny je stanovena na 325,5 m n.m., což odpovídá výšce ročního výparu 790 mm za rok. Výsledný objem vypařené vody za rok je $1\,594,69 \text{ m}^3$.

7.3.3 Ztráty vody transpirací rostlin

Ztráty způsobené transpirací rostlin se odvíjí od poměru zarostlé vodní plochy k volné hladině, nezanedbatelný vliv má také to, v jaké růstové fázi se vegetace nachází. Tato ztráta může být trojnásobná až pětinasobná než ztráta výparem z volné vodní hladiny. [2]

Celkový výpar z vodní hladiny (zarostlé i nezarostlé) získáme, když přenásobíme výpar z volné hladiny opravným součinitelem z tabulky 7.6, který stanovíme na základě odhadu podílu zarostlé vodní plochy k volné hladině. [18]

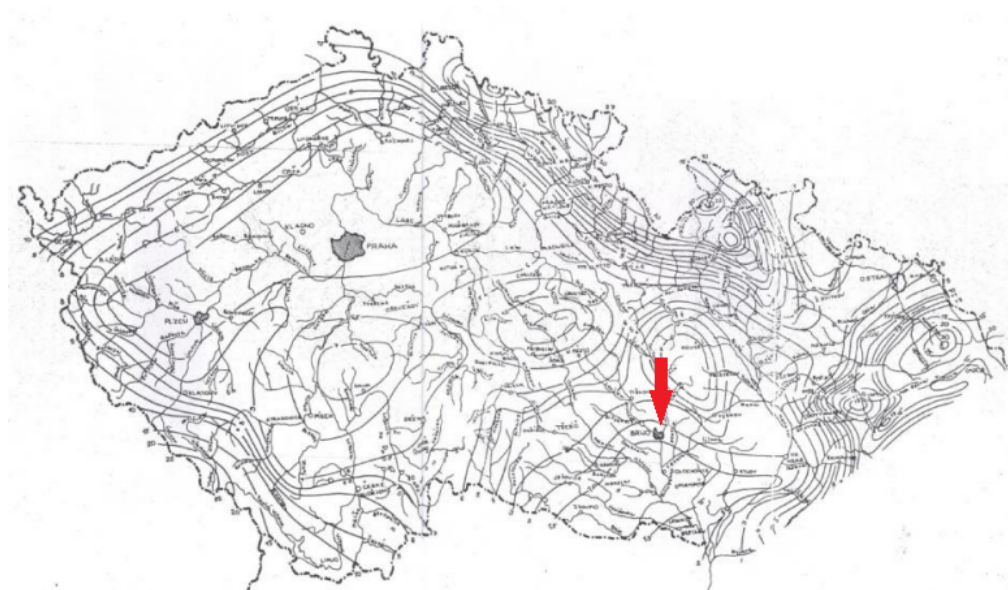
Tab. 7.6: Součinitele pro výpar ze zarostlé vodní plochy [18]

Podíl zarostlé plochy [%]	10	30	50	75
Opravný součinitel	1.03	1.08	1.14	1.22

Litorální zóna nádrže bude tvořit cca 10% z celkové volné hladiny, je tedy třeba roční výpar $1\,567,69\text{ m}^3$ vynásobit opravným součinitelem 1,03. Celkový roční výpar z vodní hladiny (zarostlé i nezarostlé) je potom $1\,642,53\text{ m}^3$.

7.3.4 Přítok do nádrže

Hodnota specifického průměrného dlouhodobého odtoku q_a byla odečtena z obr 7.6. Jde o $21 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^2$. Přenásobením plochou povodí, která je 128 ha získáme průměrný dlouhodobý přítok do nádrže $Q_a = 2,561 \cdot \text{s}^{-1}$. Objem přitéklé vody za rok je tedy $80\,732,16\text{ m}^3$.



Obr. 7.6: Mapa izolinií průměrného odtoku q_a [19]

7.3.5 Odtok z nádrže

Za normálních okolností je minimální zůstatkový průtok v toku stanoven na základě m-denních průtoků. Jelikož nemáme k dispozici tato hydrologická data byl minimální zůstatkový průtok určen jako jedna třetina přítoku, tedy:

$$Q_o = \frac{1}{3}Q_p \quad (7.12)$$

Po dosazení získáme hodnotu minimálního zůstatkového průtoku $0,851 \cdot \text{s}^{-1}$, za rok je tedy o objem $26\,805,61 \text{ m}^3$.

7.3.6 Balance

Nepředpokládá se, že nádrž bude sloužit k pravidelným odběrům vody, proto se s odběry nepočítá. Se ztrátami průsakem podloží rovněž nepočítáme, jelikož předpokládáme založení na nepropustném podloží, tento předpoklad je třeba v budoucnu podložit inženýrsko-geologickým průzkumem, popřípadě spočítat ztráty i průsakem propustným podloží. Bilanční rovnice má tvar:

$$V_{bil} = V_a - V_{odt} - V_{vyp} - V_{pr} \quad (7.13)$$

$V_a = 80\,732,16 \text{ m}^3$objem přítoku do nádrže

$V_{odt} = 26\,805,61 \text{ m}^3$objem odtoku z nádrže

$V_{vyp} = 1\,642,53 \text{ m}^3$objem ztrát vody výparem

$V_{pr} = 12,93 \text{ m}^3$objem ztrát vody průsakem hrází

Po dosazení do rovnice získáme kladnou bilanci nádrže: $52\,271,09 \text{ m}^3$, což přesahuje objem nádrže, k naplnění tedy dojde v době kratší než jeden rok.

7.4 Sdružený funkční objekt

U malých vodních nádrží se často využívá spojení bezpečnostního přelivu a spodní výpusti v jeden objekt, který nazýváme sdružený funkční objekt.

Sdružený funkční objekt bude sestávat z bočního bezpečnostního přelivu se dvěma přepadovými souběžnými hranami, požeráku, odpadní štolý a vývaru, viz výkresová část.

7.4.1 Požerák

Požerák je věžový objekt, v našem případě betonový s jednou drážkou pro dluže, kterými lze nastavit požadovanou výšku hladiny. Požerák slouží k převádění normálních průtoků a také k prázdnění nádrže.

Při prázdnění nádrže postupujeme tak, že postupně vytahujeme dluže. Vždy tak, aby maximální přepadová výška byla rovna dvojnásobku výšky dluže a minimální přepadová výška byla rovna výšce jedné dluže. Dobu, během které klesne voda o výšku jedné dluže vypočítáme ze vztahu: [18]

$$t_i = \frac{0,132 \cdot S_x}{m \cdot b_0 \cdot z^{0,5}} \quad (7.14)$$

$m = 0,407$přepadový součinitel

$z = 0,15$ m.....výška dluže

S_xstřední plocha nádrže odpovídající intervalu dané dluže

b_0účinná šířka dluže, kterou vypočteme ze vztahu:

$$b_0 = b \cdot \left(1 - \frac{0,3z}{b + 1,5z}\right) \quad (7.15)$$

Šířka dluže b byla navržena 0,4 m, potom je účinná šířka $b_0 = 0,371$ m.

Tab. 7.7: Výpočet doby prázdnění nádrže

Kóta hladiny	S_i	S_x	Doba prázdnění	
[m n. m.]	[m ²]	[m ²]	[min]	[hod]
322.50	2019	1966.0	74.0	1.23
322.35	1913	1852.0	69.7	1.16
322.20	1791	1733.5	65.2	1.09
322.05	1676	1637.0	61.6	1.03
321.90	1598	1569.5	59.0	0.98
321.75	1541	1512.5	56.9	0.95
321.60	1484	1464.5	55.1	0.92
321.45	1445	1418.5	53.4	0.89
321.30	1392	1369.5	51.5	0.86
321.15	1347	1307.0	49.2	0.82
321.00	1267	1221.5	46.0	0.77
320.85	1176	1117.0	42.0	0.70
320.70	1058	982.0	36.9	0.62
320.55	906	754.0	28.4	0.47
320.40	602	301.0	11.3	0.19
320.25	0	0.0	0.0	0.00
		Součet:	720.4	12.0

V případě potřeby tedy lze nádrž celou vypustit za 12 hodin.

7.4.2 Návrh délky bezpečnostního přelivu

Pro výpočet délky přelivné hrany se použije rovnice (7.16) pro výpočet průtoku při přepadu přes přelivnou plochu a zároveň vycházíme z předpokladu, že nedojde k ovlivnění přepadu spodní vodou.

$$Q = m \cdot b_0 \cdot \sqrt{2g} \cdot h^{3/2} \quad (7.16)$$

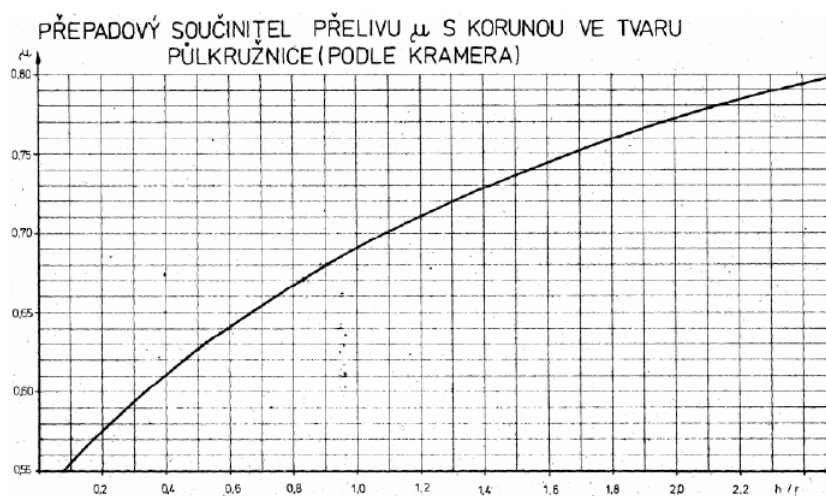
Ze této rovnice vyjádříme délku přelivné hrany b_0 .

$$b_0 = \frac{Q}{m \cdot \sqrt{2g} \cdot h^{3/2}} \quad (7.17)$$

Kulminační průtok Q_{100} byl stanoven v kap. 5 a přepadová výška h_0 byla navržena 0,4 m. Přepadový součinitel m se určí ze vztahu pro zaoblenou přepadovou hranu:

$$m = 2/3 \cdot \mu \quad (7.18)$$

kde μ je součinitel závislý na poměru přepadové výšky a poloměru zaoblení přelivné hrany a určíme jej z nomogramu na obr. 7.7. Poloměr zaoblení přepadové hrany byl navržen 0,3 m.



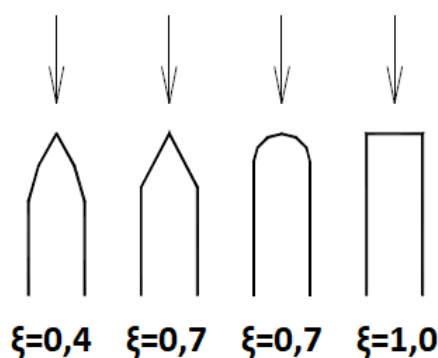
Obr. 7.7: Přepadový součinitel μ (podle Kramera) [20]

Součinitel μ je tedy 0,72 a po dosazení do vztahu (7.18) dostaneme přepadový součinitel $m = 0,48$. Po dosazení hodnot přepadového součinitele m , průtoku Q a přepadové výšky h do vztahu (7.17) získáme délku přelivné hrany $b_0 = 6,12$ m.

Abychom zjistili skutečnou šířku přelivné hrany b , je nutno šířku b_0 zvětšit o vliv kontrakcí podle vztahu:

$$b = b_0 + 0,1 \cdot n \cdot \xi \cdot h_0 \quad (7.19)$$

kde ξ je součinitel boční kontrakce, n je počet kontrakcí a h_0 je přepadová výška. Hodnota součinitele kontrakce je závislá na tvaru vtoku, příklady různých hodnot tohoto součinitele pro různě provedené obtékané konstrukce jsou uvedeny na obrázku 7.8. V našem případě jsou hrany na přelivu pravoúhlé a součinitel $\xi = 1,0$. Jelikož navrhujeme dvě přepadové hrany, kdy každá je ohraničená z dvou stran, je počet kontrakcí $n = 4$.

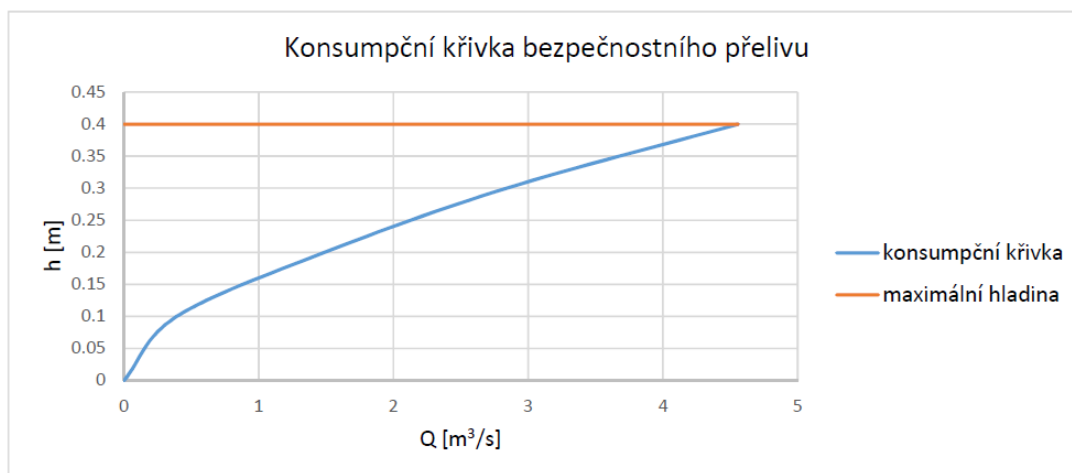


Obr. 7.8: Součinitel vtoku ξ pro různé úpravy vtoku [21]

Po dosazení výše uvedených hodnot do vztahu (7.19) vyjde požadovaná délka přelivu, která je po zaokrouhlení 6,2 m. Budou tedy navrženy dvě přelivné hrany, každá o délce 3,1 m.

Konsumpční křivka přelivu

Závislost průtoku na přepadové výšce udává konsumpční křivka. Křivka začíná na úrovni přelivné hrany a končí na maximální hladině, kdy je dosažen kulminační průtok.



Obr. 7.9: Konsumpční křivka bezpečnostního přelivu

7.4.3 Spadiště a odpadní štola

Voda přepadá přes přelivnou hranu do spadiště, ze kterého odtéká odpadní štolou, která odvádí vodu pod tělesem hráze dále do vývaru a následně do toku.

Pro výpočet předpokládáme při přechodu ze spadiště do odpadního štoly přechod z říčního na bystřinné proudění. Tento jev se vyznačuje kritickou hloubkou, od které se následně opírají ostatní výpočty. Tuto hloubku vypočítáme ze vztahu:

$$h_k = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{g \cdot b^2}} \quad (7.20)$$

kde Q je návrhový průtok a b je šířka spadiště, která byla navržena 1,6 m. Kritická hloubka po dosazení vyjde: $h_k = 0,76$ m. Na základě této kritické hloubky byl určen také kritický sklon dna 5,12‰.

Spadiště

Aby bylo ve spadišti dosaženo říčního proudění byl navržen podkritický sklon dna 0,5 %. Výškové umístění dna spadiště bylo navrženo v závislosti na výškovém umístění dna rybníční stoky, jelikož za normálních okolností slouží spadiště pro převádění normálních průtoků a musí taktéž umožnit vypuštění veškeré vody z nádrže.

Dále musí být splněna podmínka, aby nedošlo k ovlivnění přepadu spodní vodou a bylo tak dosaženo přepadu dokonalého. Toto tvrzení se ověří výpočtem průběhu hladiny ve spadišti při návrhovém průtoku $Q_{100} = 3,29 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Pro tento výpočet byla zvolena metoda podle Hindse [18].

Metoda spočívá v rozdělení spadiště na úseky a změna hladiny se počítá postupně proti proudu pro každý úsek počínaje kritickou hloubkou. Rozdíl hladin se vypočítá podle následujícího vzorce:

$$\Delta h = h_1 - h_2 = \frac{Q_1}{g} \cdot \frac{v_1 + v_2}{Q_1 + Q_2} \cdot \left(v_2 - v_1 + \frac{q \cdot v_2 \cdot \Delta x}{Q_1} \right) \quad (7.21)$$

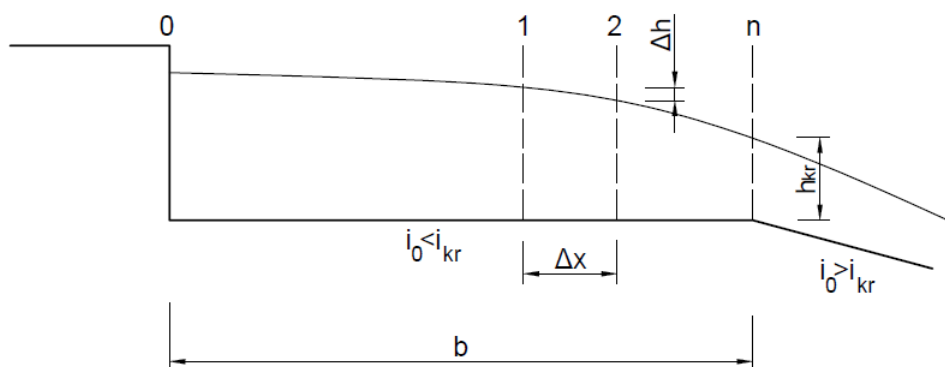
Δhrozdíl hladin mezi profily

Q_1, v_1průtok a rychlost v profilu 1

Q_2, v_2průtok a rychlost v profilu 2

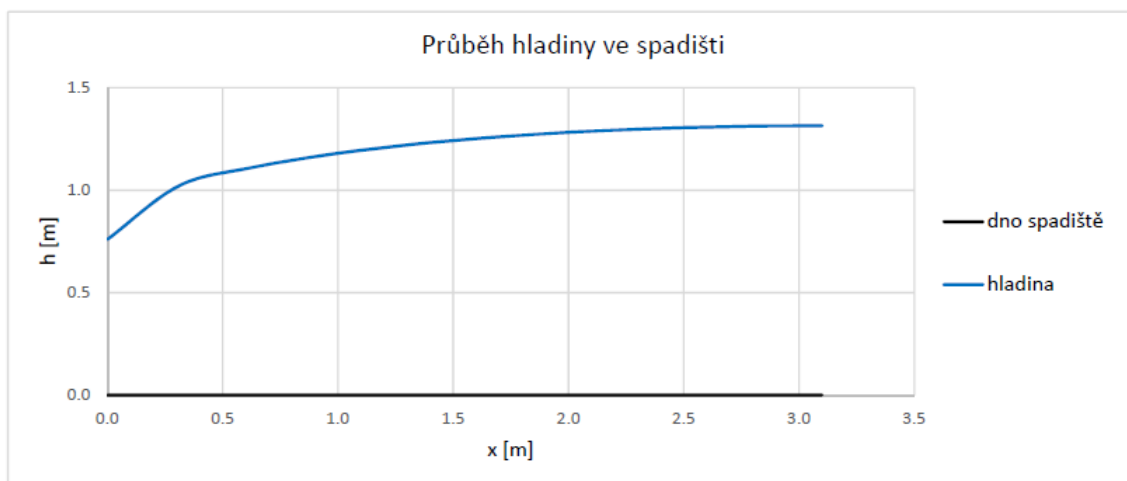
Δxvzdálenost mezi profily

qměrný průtok na 1 m délky přelivu



Obr. 7.10: Schéma výpočtu průběhu hladiny dle Hindse [18]

Řešení bylo provedeno tabelárně pomocí programu Excel, jelikož jde o složitý iterační postup. Výsledkem je graf, který znázorňuje průběh hladiny ve spadišti.



Obr. 7.11: Průběh hladiny ve spadišti

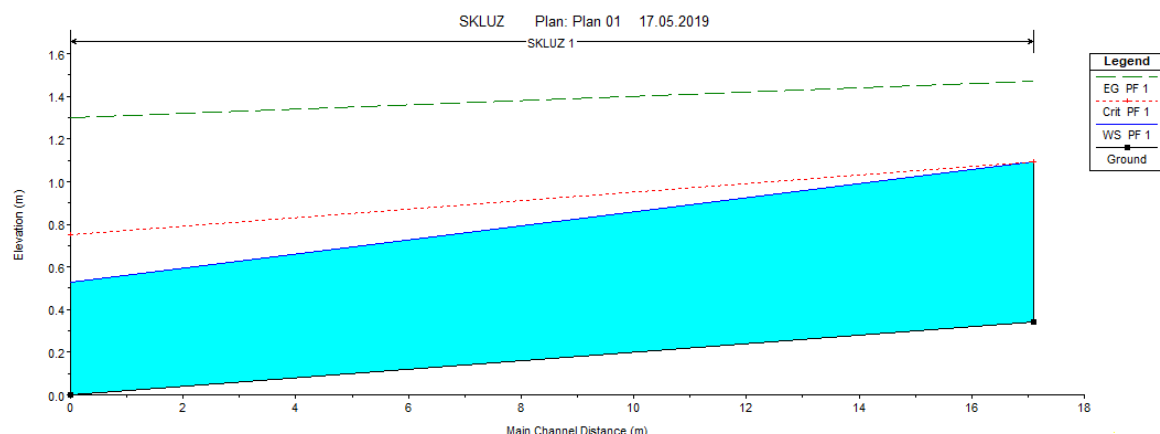
Maximální hloubka ve spadišti, která nastane při návrhovém kulminačním průtoku je 1,3 m, nachází se tedy na kótě 321,15 m n. m. Nadmořská výška přelivné hrany je 322,50 m n. m., je tedy o 0,65 m výš a nedojde k ovlivnění přepadu spodní vodou, jde o přepad dokonalý.

Odpadní štola

Pod tělesem hráze bude voda převáděna betonovou odpadní štolou obdélníkového průřezu zkosenou v horní části, která navazuje na spadiště.

Šířka byla navržena stejná jako šířka spadiště, tedy 1,6 m. Sklon dna byl navržen nadkritický a to 2%. Výška se dle typizačních směrnic Hydroprojektu [22] navrhuje minimálně jako 1,8 násobek kritické hloubky. V našem případě tedy $1,8 \cdot 0,76$ m. Po zaokrouhlení byla navržena výška odpadní štoly 1,4 m. Výška musí být taková, aby bylo po celé délce štoly dosaženo proudění o volné hladině. Abychom tuto skutečnost potvrdily byl vypočítán průběh hladiny v odpadní štole.

Výpočet byl proveden pomocí programu HEC-RAS, který slouží pro výpočet proudění o volné hladině a vychází z metody po úsecích. Předpokládáme zde nadkritické proudění, jako okrajová podmínka výpočtu byla zvolena kritická hloubka na konci spadiště 0,76 m.



Obr. 7.12: Průběh hladiny v odpadní štolé

Tab. 7.8: Průběh hladiny v odpadní štolé

Profil	Q	h	B	v	A
[-]	[m ³ ·s ⁻¹]	[m]	[m]	[m·s ⁻¹]	[m ²]
začátek	3.29	0.76	1.6	2.73	1.20
konec	3.29	0.53	1.6	3.88	0.85

Na obrázku 7.12 můžeme vidět průběh hladiny v odpadní štolé a v tabulce 7.8 parametry profilů na začátku a na konci štol. Hloubka vody se pohybuje od 1,04 m do 0,70 m. Ve štolé tedy bude proudění o volné hladině.

7.4.4 Vývar

Aby nedošlo k poškození koryta pod hrází a ohrožení samotného tělesa hráze je nutno kinetickou energii odtékající vody, především během povodňových průtoků, tlumit.

K tlumení této energie bude sloužit vývar. Je potřeba zajistit, aby s pomocí vývaru došlo k mírně vzduťmu vodnímu skoku. Míra vzduť vyjadřuje součinitel σ , který má nabývat hodnot $\sigma \in (1,05 - 1,1)$ a vypočteme jej ze vztahu:

$$\sigma = \frac{h_d + d}{h_2} \quad (7.22)$$

kde h_d je hloubka vody v korytě pod hrází, d je navržená hloubka vývaru a h_2 je druhá vzájemné výška vodního skoku, kterou vypočítáme postupně použitím následujících vztahů:

specifický průtok

$$q = \frac{Q}{b} \quad (7.23)$$

přítoková rychlost

$$v_0 = \frac{Q}{A} \quad (7.24)$$

rychlostní výška

$$k = \frac{\alpha \cdot v_0^2}{2g} \quad (7.25)$$

energie přitékající vody

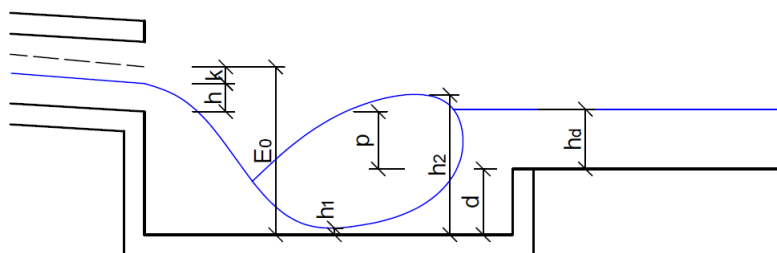
$$E_0 = p + h + k \quad (7.26)$$

první vzájemná hloubka, určíme iteračně, v prvním kroku volíme $h_1 = 0$

$$h_1 = \frac{q}{\phi \cdot \sqrt{2g(E_0 - h_1)}} \quad (7.27)$$

druhá vzájemná hloubka

$$h_2 = \frac{h_1}{2} \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{8 \cdot \beta \cdot q^2}{g \cdot h_1^3}} \right] \quad (7.28)$$



Obr. 7.13: Schéma vývaru

Vývar byl navržen s bočním rozšířením oproti skluzu o 0,2 m na každou stranu a hloubky 0,35 m. Až po kótu závěrečného prahu budou stěny vývaru svislé, dále budou provedeny ve sklonu 1:1.

Za vývarem se předpokládá lichoběžníkové koryto s šířkou ve dně 1 m se sklonem dna 3‰, drsnost tohoto koryta byla odhadnuta $n = 0,03$. Při průtoku $Q = 3,29 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ je hloubka v tomto korytě $h_d = 0,95 \text{ m}$. Výpočet míry vzduť pro tento navržený vývar je uveden v tabulce 7.9.

Tab. 7.9: Výpočet míry vzdutí

Q_N	Q	q	h	v_0	k	E_0	h_1^{-1}	h_1^{-2}	h_1^{-3}	h_1	h_2	h_d	σ
$[-]$	$[m^3 \cdot s^{-1}]$	$[m^2 \cdot s^{-1}]$	$[m]$	$[m \cdot s^{-1}]$	$[m]$	$[m]$	$[m]$	$[m]$	$[m]$	$[m]$	$[m]$	$[m]$	$[-]$
Q_{100}	3.29	1.65	0.53	3.88	0.83	2.41	0.28	0.30	0.30	0.30	1.21	0.95	1.07

Míra vzdutí vyšla $\sigma = 1,07$ je tedy splněna podmínka pro vzdutý vodní skok a navržená hloubka vývaru vystačí.

Potřebná délka vývaru je součet dílčích délek L_1 a L_2 . L_1 je dána vzdáleností dopadu vodního paprsku do vývaru od konce skluzu. Tuto délku získáme ze vzorce:

$$L_1 = 0,45 \cdot v \cdot \cos \gamma \cdot \sqrt{p + d + 0,5 \cdot h} \quad (7.29)$$

Délku L_2 vypočítáme podle vztahu:

$$L_2 = K \cdot (h_2 - h_1) \quad (7.30)$$

kde K je součinitel závislý na poměru $\frac{h_2}{h_1}$. Pro poměr $\frac{1,21}{0,30} = 4,03$ je součinitel $K = 5,0$. Po dosazení hodnot do vzorce (7.29) získáme délku $L_1 = 2,00$ m a po dosazení do vztahu (7.30) délku $L_2 = 4,60$ m. Celková délka vývaru $L = L_1 + L_2 = 6,60$ m.

7.5 Výpočet kubatur

Jako součást studie byly vypočítány přibližné objemy základních materiálů, které budou pro stavbu potřeba nebo bude nutno je odtěžit. Tyto hodnoty můžou také posloužit jako podklad pro stanovení přibližných nákladů na stavbu.

V následujících kapitolách je vypočítán objem zeminy potřebné pro stavbu hráze, objem betonu pro stavbu sdruženého funkčního objektu, objem odtěžené zeminy ze zátopy a objem skryvky o mocnosti 0,5 m.

7.5.1 Výpočet kubatury hráze

Výpočtem objemu tělesa hráze zjistíme přibližné potřebné množství materiálu pro její stavbu. Pro tento výpočet byly vytvořeny příčné řezy hrází po 5 m a stanovena jejich plocha. Výpočet kubatury hráze pro jednotlivé úseky mezi řezy se počítá podle vzorce:

$$V_i = 0,5 \cdot (S_i + S_{i+1}) \cdot \Delta l \quad (7.31)$$

Kde S_i je plocha příslušného řezu a Δl je vzdálenost mezi jednotlivými řezy. Výsledný objem tělesa hráze je potom součtem těchto dílčích objemů. Tento výpočet je znázorněn v tabulce 7.10.

Tab. 7.10: Výpočet kubatury hráze

řez	S_i	Δl	$0.5 \cdot (S_i + S_{i+1})$	V_i
[-]	[m ²]	[m]	[m ²]	[m ³]
začátek hráze	0	0	0	0.00
1	33.46	5	16.73	83.65
2	49.43	5	41.45	207.23
3	49.43	5	49.43	247.15
4	49.43	5	49.43	247.15
5	40.62	5	45.03	225.13
6	32.41	5	36.52	182.58
7	15.64	5	24.03	120.13
konec hráze	0	3	7.82	23.46
ΣV				1336.46

Výsledný objem tělesa hráze tedy vyšel 1 336,46 m³.

7.5.2 Výpočet kubatury odtěžené zeminy ze zátopy

Vycházíme z předpokladu, že se v místě budoucí zátopy pod vrstvou nánosů, tedy zeminy s velkým podílem humusu o mocnosti cca 0,5 m nachází zemina vhodná pro stavbu hráze.

Odtěžením této zeminy tedy získáme materiál pro stavbu hráze a také dojde k zvětšení zásobního objemu nádrže. Při výpočtu odtěžené zeminy vyházíme z příčných řezů zátopy a postupujeme obdobně jako u výpočtu kubatury hráze. Počítáme plochu mezi upraveným dnem nádrže a úrovní terénu po odhumusování. Výpočet je zřejmý z tab. 7.11.

Tab. 7.11: Výpočet kubatury odtěžené zeminy

řez	S_i	Δl	$0.5 \cdot (S_i + S_{i+1})$	V_i
[-]	[m ²]	[m]	[m ²]	[m ³]
začátek zátopy	0	0	0	0.00
1	8.64	2	4.32	8.64
2	12.89	8	10.77	86.12
3	18.90	8	15.90	127.16
4	25.40	8	22.15	177.20
5	32.08	8	28.74	229.92
6	40.62	8	36.35	290.80
7	34.15	8	37.39	299.08
8	10.17	8	22.16	177.28
konec zátopy	0	3	17.08	47.81
ΣV				1444.01

Objem odtěžené zeminy je 1 444,01 m³, což je více než objem hráze. Zeminy ze zátopy by tedy měl být dostatek pro výstavbu tělesa hráze. To ovšem platí jen za předpokladu, že inženýrsko-geologický průzkum potvrdí výskyt vhodné zeminy pro stavbu hráze v zátopě.

7.5.3 Výpočet kubatury skrývky

Obdobně jako objem odtěžené zeminy se počítá také objem sejmuté skrývky o mocnosti 0,5 m.

Tab. 7.12: Výpočet kubatury skrývky

řez	S_i	Δl	$0.5 \cdot (S_i + S_{i+1})$	V_i
[-]	[m ²]	[m]	[m ²]	[m ³]
začátek zýtopy	0	0	0	0.00
1	15.44	2	7.72	15.44
2	14.32	8	14.88	119.04
3	15.18	8	14.75	118.00
4	14.24	8	14.71	117.68
5	13.82	8	14.03	112.24
6	14.7	8	14.26	114.08
7	15.6	8	15.15	121.20
8	11.73	8	13.67	109.32
konec zátopy	0	3	7.80	21.84
ΣV				848.84

Objem této zeminy je 848,48 m³, k němuž je nutno připočíst objem ornice odtěžené ze základové spáry pod hrází, který činí 350,65 m³. Celkový objem sejmuté ornice je 1 199,49 m³. Tato ornice může být použita pro ohumusování svahů hráze, úpravu okolí zátopy či pro rekultivaci jiných pozemků.

7.5.4 Výpočet kubatury betonu

Na základě půdorysu, podélného řezu a příčných řezů sdruženého funkčního objektu byly vypočítány objemy jednotlivých částí této stavby, které jsou uvedeny v tab. 7.13.

Tab. 7.13: Objem betonu

Spadiště + požerák	25.78 [m ³]
Odpadní štola	42.70 [m ³]
Vývar	11.94 [m ³]
Celkem	80.42 [m ³]

Celkové přibližné množství betonu potřebného pro stavbu sdruženého funkčního objektu je 80,42 m³.

8 Závěr

Předmětem bakalářské práce bylo zpracování studie malé vodní nádrže v katastrálním území Soběšic v Jihomoravském kraji. Tato studie, která byla vypracována z podmětu majitele pozemku, na němž byla nádrž navržena, představuje možnou podobu technického řešení této stavby. Poslouží jako podklad ke stanovení rozsahu stavebních prací a zhodnocení tohoto záměru.

Velikost nádrže a jí odpovídající těleso hráze bylo navrženo na základě terénního průzkumu a 3D modelu terénu, kdy limitujícími faktory jsou zejména velikost pozemku investora a poloha přiléhající účelové komunikace. Na základě těchto skutečností byla navržena vodní nádrž o maximálním zásobním objemu $2\,994,8\text{ m}^3$. Při tomto objemu je plocha vodní hladiny nacházející se na kótě 322,50 m n. m. $2\,018,6\text{ m}^2$. Z této plochy tvoří 10% litorální zóna, která je situovaná na konci vzdutí. Bude sloužit především jako životní prostředí různých živočichů a zvýší tak biodiverzitu krajiny. Při maximální hladině o rozloze $2\,258,3\text{ m}^2$, která leží na kótě 322,90 m n. m., je objem nádrže $3\,850,1\text{ m}^3$. Pro další stupně plánování se jako potřebný krok jeví přesné zaměření terénu s důrazem na zaměření polohy a výškové úrovně účelové komunikace, jelikož tato skutečnost není z 3D modelu terénu příliš patrná.

Hráz je řešena jako homogenní s korunou v nadmořské výšce 323,50 m n. m. V místě navržené hráze ani zátopy nebyl vyhotoven inženýrsko-geologický průzkum, při návrhu bylo tedy vycházeno z předpokladu, že se hráz nachází na nepropustném podloží a bude vystavěna z jílu s nízkou až střední plasticitou. Pro další stupně projektové dokumentace je ovšem třeba inženýrsko-geologický průzkum vyhotovit a návrh podle něj upřesnit.

Dále byl proveden návrh sdruženého funkčního objektu. Jedná se o bezpečnostní přeliv se zabudovaným požerákem dimenzovaný na Q_{100} . Tento stoletý průtok o hodnotě $3,29\text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ byl stanoven pomocí metody CN křivek. K tlumení kinematické energie odtékající vody byl navržen vývar.

Nádrž bude sloužit jako krajinnotvorný prvek, zachycující vodu, která by jinak otekla dále po toku. Zadržaná voda bude moci být využívána jako voda protipožární. Pro tento účel je hráz při levém břehu upravena pro stání hasičských vozidel. V letních měsících se připouští také rekreační využití nádrže.

Na závěr byl proveden výpočet objemů tělesa hráze, odtěženého materiálu ze zátopy, skrývky a betonu pro stavbu sdruženého funkčního objektu. Tyto hodnoty poslouží jako podklad pro stanovení náročnosti stavby a finančních nákladů. Již v tuto chvíli lze ale konstatovat, že vzhledem k velikosti zásobního objemu nádrže se jeví množství výkopů a objem tělesa hráze, včetně kubatury použitého betonu jako nevhodné. Nutno je ovšem zdůraznit, že nádrž není budována za cílem zisku, ale je brána jako krajinný prvek zvyšující její hodnotu na jinak špatně využitelném území.

Literatura

- [1] ČSN 75 2410 *Malé vodní nádrže*. 48 stran. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [2] VRÁNA, Karel a Jan BERAN: *Rybníky a účelové nádrže*. Vyd. 3. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2008. ISBN 978-80-01-04002-7.
- [3] ŠÁLEK, Jan, Anna TRESOVÁ a Zdeněk MIKA: *Rybníky a účelové nádrže: celostátní vysokoškolská učebnice pro stavební fakulty vysokých škol technických*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1989. ISBN 80-03-00092-0.
- [4] ŠÁLEK, Jan: *Rybníky a účelové nádrže*. Vyd. 1. Brno: VITIUM, 2001. ISBN 80-214-1806-0.
- [5] *Centrální evidence vodních toků. eAgri* [online]. [cit. 19. 05. 2019]. Dostupné z URL:
<<http://eagri.cz/public/web/mze/voda/aplikace/cevt.html>>.
- [6] *Mapa VH a ochrta vod. Hydroekologický informační systém VÚV TGM* [online]. [cit. 19. 05. 2019]. Dostupné z URL:
<<https://heis.vuv.cz/>>.
- [7] *Klimatické poměry ČR. Fyzická geografie České republiky* [online]. [cit. 19. 05. 2019]. Dostupné z URL:
<http://www.herber.kvalitne.cz/FG_CR/klima.html#C5>.
- [8] *Archív počasí Brno-Tuřany. In-pocasí* [online]. [cit. 19. 05. 2019]. Dostupné z URL:
<<https://www.in-pocasi.cz/archiv/brno/>>.
- [9] *Geomorfologické jednotky ČR. Geoportál ČUZK* [online]. [cit. 19. 05. 2019]. Dostupné z URL:
<<https://geoportal.cuzk.cz/Geoprohlizec/default.aspx?wmcid=9590>>.
- [10] MÜLLER, Pavel a Zdeněk NOVÁK: *Geologie Brna a okolí*. Praha: Český geologický ústav, 2000. ISBN 80-707-5416-8.
- [11] *Geologická mapa 1:25 000. Česká geologická služba* [online]. [cit. 30. 04. 2019]. Dostupné z URL:
<http://mapy.geology.cz/geocr_25/>.

- [12] *Půdní mapa 1:50 000. Česká geologická služba* [online]. [cit. 30. 04. 2019]. Dostupné z URL:
<<https://mapy.geology.cz/pudy/>>.
- [13] *Mapa extrémních nárazů větru ve výšce 10 m nad povrchem. Ústav fyziky atmosféry* [online]. [cit. 19. 05. 2019]. Dostupné z URL:
<<https://http://vitr.ufa.cas.cz/extremni-vitr/>>.
- [14] *ČSN 75 2935 Posuzování bezpečnosti vodních děl při povodních* 16 stran. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
- [15] ŘEDINOVÁ, Jana, Jirka PAVLÁSEK a Petr MÁCA: *Hydrologie: návody ke cvičením*. Praha: Česká zemědělská univerzita, 2009. ISBN 80-707-5416-8.
- [16] JANEČEK, Miroslav: *Ochrana zemědělské půdy před erozí: metodika*. Praha: Powerprint, 2012. ISBN 978-80-87415-42-9.
- [17] *ČSN 75 0255 Výpočet účinků vln na stavby na vodních nádržích a zdržích*. 32 stran. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1988.
- [18] VRÁNA, Karel: *Rybníky a účelové nádrže: příklady*. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002. ISBN 80-01-01793-1.
- [19] KEMEL, Miroslav: *Klimatologie, meteorologie, hydrologie*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2000. ISBN 80-01-01456-8.
- [20] DOLEŽAL, Petr: *Rybníky a účelové nádrže (Modul 01)*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2007.
- [21] JANDORA, Jan a Jan Šulc: *Hydraulika (Modul 01)*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2006.
- [22] HYDROPROJEKT *Navrhování sdružených objektů zemních hrází do výšky 15 m: typizační směrnice stavebního objektu* Praha:Hydroprojekt, 1981.

Seznam obrázků

4.1	Vyznačení zájmového území v mapě	14
4.2	Povodí potoku Melatín	15
4.3	Výřez z geologické mapy	17
4.4	Výřez z půdní mapy	18
4.5	Pohled do předpokládané zátopy	19
4.6	Předpokládané místo pro sdružený funkční objekt	20
4.7	Pohled na pozemek z účelové komunikace	20
5.1	Umístění hráze s vyznačeným povodím	22
5.2	Výpočet pomocí programu ERCN	25
7.1	Batygrafické křivky	30
7.2	Schéma k výpočtu efektivní délky rozběhu větru	31
7.3	Převýšení koruny hráze	34
7.4	Schéma pro výpočet průsaku hrází a stanovení depresní křivky	36
7.5	Roční výpar v závislosti na nadmořské výšce	37
7.6	Mapa izolinií průměrného odtoku q_a	38
7.7	Přepadový součinitel μ (podle Kramera)	41
7.8	Součinitel vtoku ξ pro různé úpravy vtoku	42
7.9	Konsumpční křivka bezpečnostního přelivu	43
7.10	Schéma výpočtu průběhu hladiny dle Hindse	44
7.11	Průběh hladiny ve spadišti	45
7.12	Průběh hladiny v odpadní štolě	46
7.13	Schéma vývaru	47

Seznam tabulek

4.1	Průměrný měsíční úhrn srážek	15
4.2	Průměrná měsíční teplota vzduchu	16
4.3	Průměrná měsíční doba slunečního svitu	16
4.4	Další klimatické ukazatele	16
5.1	Požadovaná míra bezpečnosti pro návrh a posuzování vodního díla . .	21
5.2	Přehled ploch v povodí	23
7.1	Charakteristické čáry nádrže	29
7.2	Délky radiál a jejich úhly	32
7.3	Přepoččet na rychlost větru nad vodní hladinou	32
7.4	Přepoččet na pravděpodobnost překročení	34
7.5	Souřadnice depresní křivky	36
7.6	Součinitele pro výpar ze zarostlé vodní plochy	38
7.7	Výpočet doby prázdnění nádrže	40
7.8	Průběh hladiny v odpadní štolě	46
7.9	Výpočet míry vzdutí	48
7.10	Výpočet kubatury hráze	49
7.11	Výpočet kubatury odtěžené zeminy	50
7.12	Výpočet kubatury skrývky	51
7.13	Objem betonu	51

Seznam příloh

1. Přehledná situace (M 1:400)
2. Podrobná situace (M 1:200)
3. Podélný profil hráze (M 1:100)
4. Vzorový příčný řez hrází (M 1:100)
5. Podélný řez sdruženým objektem (M 1:100)
6. Půdorys sdruženého objektu (M 1:100)
7. Podélný řez zátopou (M 1:300/50)
8. Příčné řezy zátopou (M 1:200/100)